

Mestrado Integrado em Engenharia Química

***Projeto de Definição de Boas Práticas na
Aplicação de Vernizes e Esmaltes em Folha de
Flandres na Produção***

Tese de Mestrado

de

Ana Margarida Duarte Faria Azevedo

Desenvolvida no âmbito da unidade curricular de Dissertação

realizado em

Colep



Orientador na FEUP: Prof. Adélio Mendes

Orientador na Colep: Eng. José Carlos Oliveira



Universidade do Porto

Faculdade de Engenharia

FEUP

Departamento de Engenharia Química

Julho de 2014

“A person who never made a mistake
never tried anything new”

Albert Einstein

Agradecimentos

Gostaria de deixar o meu sincero agradecimento a todos aqueles que contribuíram e tornaram possível a realização desta dissertação de mestrado.

Ao Eng. José Carlos Oliveira e à Eng. Carla Abreu pela simpatia e pela forma como me receberam na empresa e por me proporcionarem uma experiência enriquecedora tanto a nível pessoal como profissional. Quero agradecer por todo o conhecimento transmitido, pelo interesse demonstrado no meu trabalho e por todos os conselhos valiosos que me foram dando ao longo destes cinco meses.

Ao meu orientador Prof. Adélio Mendes, pelas palavras de incentivo, pelos conselhos cheios de experiência, pela exigência de método e rigor, pelo interesse demonstrado e por toda a disponibilidade prestada durante este projeto.

À Professora Margarida Bastos e à Professora Joana Peres pela disponibilidade e pelo apoio prestado para esclarecer dúvidas ao longo desta dissertação.

Ao António Alberto, Fátima Mendes, Daniel Lucas, Rogério, Florbela e Fernando Paulo pelas conversas, pela companhia, pelos momentos divertidos e por me fazerem sentir integrada na empresa.

Ao Cardoso, Luís Pedro, Pedro Paulo e a todos os colaboradores da empresa que partilharam comigo o seu conhecimento de anos de experiência e se mostraram sempre disponíveis para ajudar.

Ao Daniel Ferreira, Ângela Dias e ao Roberto Magalhães pela disponibilidade e apoio na realização dos ensaios em laboratório.

Ao Miguel pela dedicação, paciência e todo o apoio que sempre demonstrou ao longo do meu percurso académico.

A todas as pessoas da Colep que direta ou indiretamente contribuíram para a minha dissertação.

À Colep pela oportunidade de realizar a dissertação em ambiente empresarial e apoio financeiro.

Resumo

A aplicação de vernizes e esmaltes sobre folha de flandres constitui uma importante fase no processo de fabricação de embalagens metálicas. Estes revestimentos conferem proteção à embalagem, comunicam com o cliente e têm uma função estética. Contudo, durante a aplicação dos revestimentos as suas funções podem ser prejudicadas devido ao aparecimento de defeitos no filme aplicado.

Esta dissertação tem como objetivos a identificação e caracterização dos vários defeitos que surgem no filme de um revestimento e definir boas práticas para minimizar ou eliminar o aparecimento destes defeitos. Os defeitos estudados neste projeto foram as marcas alongadas, os poros, as bolhas e as manchas.

De forma a identificar a origem dos defeitos nos revestimentos aplicados, efetuou-se um conjunto alargado de ensaios. Depois de identificada a origem dos vários defeitos procedeu-se a um estudo de soluções para minimizar ou eliminar o seu aparecimento.

Dentro dos defeitos estudados foi possível identificar com sucesso a origem de dois deles, as marcas alongadas e os poros. Concluiu-se que as marcas alongadas surgem devido ao contacto do revestimento com os garfos do forno e que os poros ocorrem devido a contaminações com óleo. Para resolver o defeito marca alongada conclui-se ser necessário proceder à manutenção dos garfos do forno e para resolver o problema dos poros conclui-se ser necessário controlar a qualidade do ar que circula na área das linhas de produção.

Conclui-se que as bolhas ocorrem com maior incidência numa determinada linha de produção, a linha 1. De acordo com os ensaios realizados pensa-se que o defeito está relacionado com o uso de rolos de aplicação do revestimento com defeitos superficiais. Também foi possível identificar que as manchas estão relacionadas com a adição de solvente na superfície do filme do revestimento. A adição de solvente sobre a superfície do filme pode ocorrer por libertação de solventes do rolo de aplicação.

Palavras Chave:

Vernizes, Esmaltes, Defeitos

Abstract

The application of varnishes and enamels on tinsplate is an important step in the manufacture of metal packaging process. These coatings provide protection to the packaging, communicate with the client and have an aesthetic function. However during the application of coatings, functions may be changed due to some defects in the film applied.

The objectives of this thesis are the identification and characterization of various defects that appear in a coating film and develop best practices to minimize or eliminate the appearance of defects. The defects studied in this project were elongated marks, eyeholing, bubbling and skipping.

In order to identify the defects in the application, a large numbers of tests were made on the production lines. After identifying the source of the defects was made a study of possible solutions to minimize or eliminate them.

Within the studied defects was possible to successfully identify the origin of two defects, elongate marks and eyeholing. It was concluded that the elongated marks arise due to the contact of the coating with the wickets of the oven and the eyeholing are due to contamination with oil. To solve the defect marks we conclude that it is necessary the maintenance of the wickets of the oven and to solve the defect of the eyeholing is necessary to control the quality of air circulating in the area of production lines.

It follows that bubbles occur most frequently in one of the production lines, the line 1. And according to the tests carried out it is believed that the defect is associated with the use of roller coating application, with surface defects. It was also possible to identify that skipping is related to the addition of solvent in the coating film surface. And the addition of solvent on the surface of the film may occur by releasing solvents from the application roller.

Keywords:

Varnishes, Enamels, Defects

Declaração

Declara, sob compromisso de honra, que este trabalho é original e que todas as contribuições não originais foram devidamente referenciadas com identificação da fonte.

Ana Margarida Duarte Faria Azevedo
25 de julho de 2024

Índice

| | | |
|----------------|------------------------------------------------------------|-----------|
| 1 | Introdução..... | 1 |
| 1.1 | Enquadramento e Apresentação do Projeto | 2 |
| 1.2 | Apresentação da Empresa | 5 |
| 1.3 | Organização da Tese | 6 |
| 2 | Contexto e Estado da Arte | 7 |
| 2.1 | Tipos de Resinas Utilizadas nos Revestimentos | 7 |
| 2.2 | Problemas que Ocorrem na Aplicação dos Revestimentos | 10 |
| 3 | Resultados e Discussão..... | 14 |
| 3.1 | Defeitos na Aplicação de Esmaltes e Vernizes | 14 |
| 3.1.1 | Marcas alongadas..... | 14 |
| 3.1.2 | Poros | 16 |
| 3.1.3 | Bolhas | 21 |
| 3.1.4 | Manchas..... | 24 |
| 3.1.5 | Outros Problemas de aplicação..... | 26 |
| 3.2 | Controlo de Receção de Esmaltes e Vernizes | 28 |
| 3.2.1 | Espetroscopia de Infravermelho | 28 |
| 3.2.2 | Pressão de Vapor | 30 |
| 3.2.3 | Índice de Refração | 33 |
| 3.3 | Boas Práticas na Aplicação de Esmaltes e Vernizes | 33 |
| 4 | Conclusões | 36 |
| 4.1 | Limitações e Trabalho Futuro | 37 |
| 4.2 | Apreciação Final | 38 |
| Anexo 1 | Equipamento Utilizado nos Ensaios..... | 40 |
| Anexo 2 | Espetros de Infravermelho | 43 |

Índice de Figuras

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Figura 1 - Imagens das primeiras embalagens produzidas de metal (extraído de [1,3]).</i> | 1 |
| <i>Figura 2 - Fotografia de embalagens produzidas na Colep.</i> | 2 |
| <i>Figura 3 - Representação esquemática de um sistema de envernizamento.</i> | 3 |
| <i>Figura 4 - Representação ilustrativa de uma linha de produção convencional (adaptado de [12]).</i> | 3 |
| <i>Figura 5 - Representação ilustrativa do sistema de aplicação do revestimento sobre folha de flandres (adaptado de [12]).</i> | 4 |
| <i>Figura 6 - Fotografia de uma folha litografada com branco esmalte com o defeito do tipo marca alongada.</i> | 15 |
| <i>Figura 7 - Fotografias de folhas litografadas resultantes do ensaio de contacto forçado entre o garfo e o revestimento.</i> | 16 |
| <i>Figura 8 - Fotografia de uma folha litografada com branco esmalte com defeito do tipo poro.</i> | 17 |
| <i>Figura 9 - Fotografia de uma folha litografada com branco esmalte acrílico com poros resultante da exposição a atmosfera contaminada.</i> | 18 |
| <i>Figura 10 - Fotografia de uma folha litografada com branco esmalte poliéster com poros resultantes da exposição a atmosfera contaminada.</i> | 18 |
| <i>Figura 11 - Fotografia de uma folha litografada com branco esmalte acrílico com poros resultantes da exposição a atmosfera contaminada, mas com passagem prévia no forno.</i> | 18 |
| <i>Figura 12 - Fotografia de uma folha litografada com branco esmalte com poros resultantes da aplicação de óleo lubrificante em spray.</i> | 19 |
| <i>Figura 13 - Representação ilustrativa de uma partícula de pólen de pinheiro sobre um revestimento branco esmalte.</i> | 19 |
| <i>Figura 14 - Fotografia recolhida da lupa, de folha da produção com o defeito do tipo poro.</i> | 20 |
| <i>Figura 15 - Fotografia recolhida da lupa, de folha exposta a atmosfera contaminada com o defeito poro.</i> | 20 |
| <i>Figura 16 - Representação ilustrativa de uma partícula de óleo sobre um revestimento branco esmalte.</i> | 21 |
| <i>Figura 17 - Imagem ilustrativa das bolhas presentes nos revestimentos.</i> | 22 |
| <i>Figura 18 - História da temperatura no interior do forno da linha de produção número 1.</i> | 23 |
| <i>Figura 19 - História da temperatura no interior do forno da linha de produção número 2.</i> | 23 |
| <i>Figura 20 - Fotografia de uma folha litografada com branco esmalte com defeito do tipo mancha.</i> | 24 |
| <i>Figura 21 - Fotografia de uma folha litografada com verniz ouro e com branco esmalte.</i> | 25 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>Figura 22 - Fotografia de uma folha litografada com branco esmalte na presença de gotas de solvente.</i> | <i>26</i> |
| <i>Figura 23 - Fotografia de uma folha litografada com contaminação com branco esmalte no revestimento interior.</i> | <i>27</i> |
| <i>Figura 24 - Fotografia de folha litografada com contaminação de branco esmalte na reserva.</i> | <i>27</i> |
| <i>Figura 25 - Espectro de infravermelho do lote 1.</i> | <i>29</i> |
| <i>Figura 26 - Espectros de infravermelho do lote 1 (linha vermelha) e do lote 2 (linha azul).</i> | <i>30</i> |
| <i>Figura 27 - Gráfico de pressão de vapor do lote 1.</i> | <i>31</i> |
| <i>Figura 28 - Gráfico de pressão de vapor do lote 2.</i> | <i>31</i> |
| <i>Figura 29 - Gráfico de pressão de vapor do lote 3.</i> | <i>32</i> |

Índice de Tabelas

Tabela 1- Caracterização das bandas do espectro de infravermelho do lote 1. 29

Tabela 2 - Média e desvio padrão das amostras dos diferentes lotes. 32

Notação e Glossário

Letras gregas

| | |
|-----------|----------------|
| μ | Média |
| s | Desvio padrão |
| \bar{x} | Média amostral |

Lista de Siglas

| | |
|-------|------------------------------------------------------------------------|
| ATR | Attenuated Total Reflection (Reflexão Total Atenuada) |
| BPA | Bisfenol A |
| FT-IR | Fourier Transform Infrared (Infravermelho com Transformada de Fourier) |
| IV | Infravermelho |
| MIR | Mid Infrared (Infravermelho Médio) |

1 Introdução

A história das embalagens metálicas ganhou forma quando, em 1795, o governo francês ofereceu uma recompensa a quem inventasse um método de conservação de alimentos para o exército liderado por Napoleão Bonaparte. Em 1810, o francês Nicholas Appert foi premiado por descobrir que era possível conservar os alimentos por longos períodos de tempo, em embalagens esterilizadas por ebulição. [1,2]

Cerca de um ano depois, o inglês Peter Durand recebeu a primeira patente pela invenção de uma embalagem cilíndrica selada com folha de flandres. [1,3] Em 1812, Bryan Donkin e John Hall usaram a patente e criaram a primeira fábrica de conservas utilizando embalagens de folha de flandres. Na Figura 1 são apresentadas imagens das primeiras embalagens metálicas produzidas manualmente. À medida que a indústria das embalagens se expandiu por novos territórios outros produtos como bolachas e fósforos começaram a ser comercializados em embalagens metálicas. [1,2] Em 1868, foram desenvolvidos os primeiros revestimentos interiores para as embalagens. [2]



Figura 1- Imagens das primeiras embalagens produzidas de metal (extraído de [1,3]).

Hoje em dia milhares de milhões de embalagens metálicas são vendidas em todo o mundo. As aplicações são ilimitadas, desde embalagens para alimentos, aerossóis, tintas entre outros produtos industriais. [3] Os avanços da tecnologia permitiram reduzir em 30 % o peso das embalagens, reduzindo a matéria-prima mas apresentam maior resistência e são mais seguras. [4]

A indústria de embalagens metálicas emprega cerca de 70 000 pessoas na Europa e produz mais de 70×10^9 embalagens por ano. [5,6] A produção de embalagens metálicas recorre a uma tecnologia complexa que para determinados tipos de embalagens é capaz de produzir 2 000 latas por minuto. Na atualidade as soluções para as embalagens metálicas continuam a ser melhoradas para atender às necessidades dos consumidores. [5,6]

1.1 Enquadramento e Apresentação do Projeto

A presente dissertação foi realizada em ambiente empresarial nas instalações da Colep, em Vale de Cambra. As embalagens metálicas produzidas na Colep têm como principal matéria-prima a folha de flandres. Esta folha consiste numa liga ferro-carbónica com baixo teor de carbono, revestida a estanho em ambas as faces o que lhe confere uma cor prateada.

As embalagens metálicas podem ser divididas em duas categorias; os aerossóis e *general line* que inclui embalagens alimentares (salsichas, azeite, bolachas) e industriais (colas, borrachas, tintas, vernizes). As embalagens são constituídas por três componentes. No caso dos aerossóis os componentes são designados por corpo, cúpula e fundo. No caso das embalagens industriais e alimentares a designação atribuída aos componentes é corpo, fundo e o terceiro componente é tampa e tampo respetivamente. Na Figura 2 encontra-se uma fotografia com os diferentes tipos de embalagens produzidas na Colep.



Figura 2 - Fotografia de embalagens produzidas na Colep.

O processo de fabricação de embalagens metálicas é um processo complexo que envolve diferentes etapas. A produção de embalagens inicia-se na pré-impressão. Nesta fase é preparada a imagem que será litografada na folha de flandres de acordo com as especificações exigidas pelo cliente. Depois de estabelecidas as especificações da embalagem o processo que se segue é o corte primário. As bobines são cortadas em folhas de acordo com o tamanho pretendido para produção. O corte inicia-se quando se verifica que as especificações da bobine estão conformes, ou seja, é efetuada uma verificação de determinados parâmetros da bobine antes de proceder ao corte. Os parâmetros verificados são o aspeto visual, a espessura, a porosidade, a curvatura, a ondulação e a dureza.

A folha de flandres depois de cortada segue para a litografia, onde são aplicados os sistemas de envernizamento e a decoração da embalagem. Os sistemas de envernizamento apresentam uma grande variedade de combinações possíveis e cada combinação é adotada de acordo com o produto pretendido. Um sistema de envernizamento é constituído normalmente por um verniz interior, de um dos lados da folha, e no lado oposto um verniz primário ou esmalte branco seguido das tintas e por último um verniz protetor. Dependendo do produto pretendido, os vernizes e esmaltes podem ser aplicados em uma ou duas camadas, e podem levar ou não verniz no interior da embalagem. Na figura 3 é apresentada uma representação esquemática de um sistema de envernizamento sobre folha de flandres.

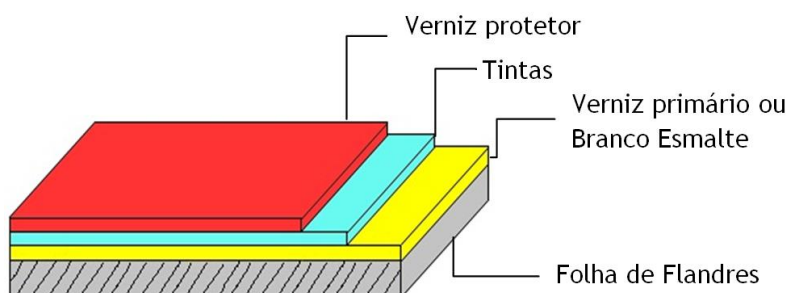


Figura 3 - Representação esquemática de um sistema de envernizamento.

A litografia está dividida em duas áreas de produção de folha litografada; as linhas convencionais e as linhas de ultravioleta. Nas linhas convencionais a folha é alimentada à linha de produção e passa por rolos que transferem o verniz ou esmalte para a folha de flandres. De seguida a folha passa pelo forno para ser curada e à saída deste é arrefecida e é disposta em paletes. Na figura 4 encontra-se uma representação esquemática de uma linha de produção convencional.

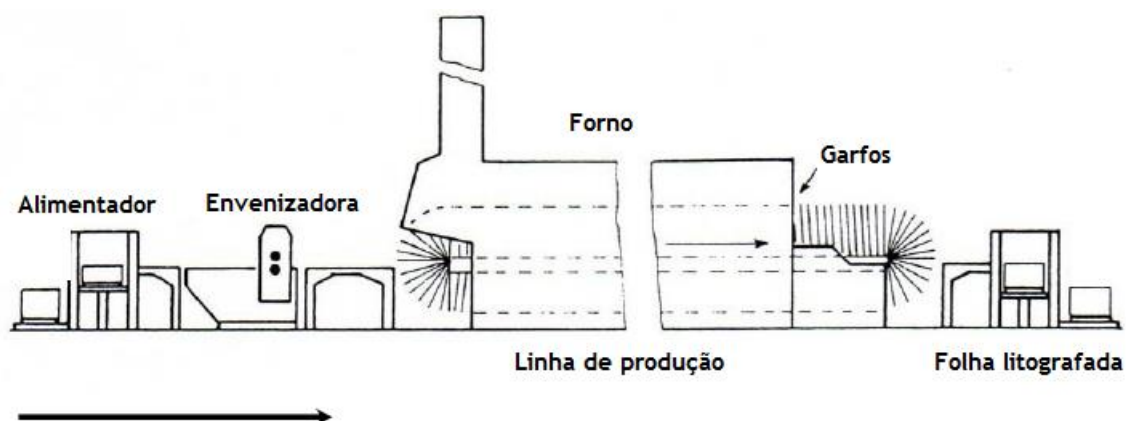


Figura 4 - Representação ilustrativa de uma linha de produção convencional (adaptado de [12]).

A série de rolos de aplicação do revestimento é designada por envernizadora. Na envernizadora o verniz ou esmalte é aplicado de forma uniforme, com uma espessura

controlada, sobre a superfície de cada folha de flandres que passa na máquina. Na figura 5 encontra-se uma representação esquemática do sistema de rolos.

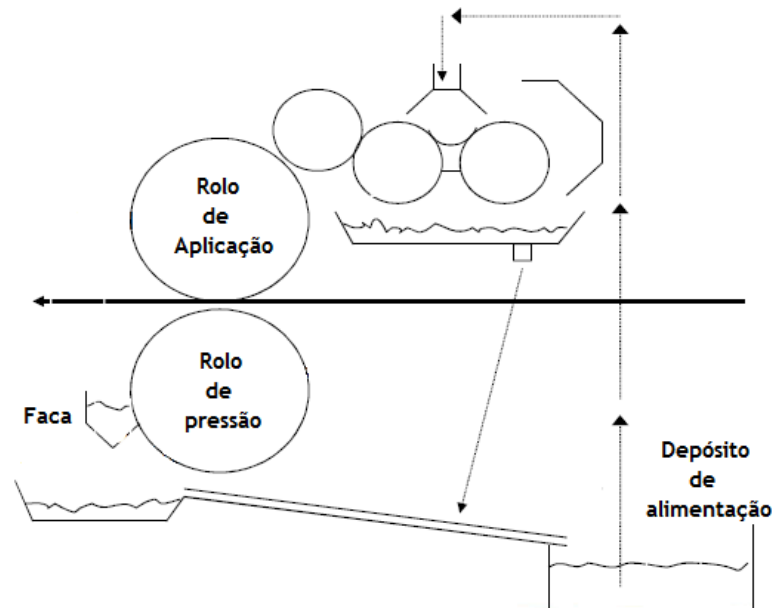


Figura 5 - Representação ilustrativa do sistema de aplicação do revestimento sobre folha de flandres (adaptado de [12]).

O revestimento é introduzido em máquina, num depósito de alimentação, e de seguida é bombeado para uma cota superior. Os primeiros rolos em contacto com o revestimento que se encontram em rotação, alimentam o rolo seguinte que por sua vez transfere o produto para o rolo de aplicação e este transfere para a folha de flandres. A pressão entre rolos pode ser regulada o que permite o controlo da quantidade exata de verniz ou esmalte que é depositada na folha. O rolo de pressão tem como função assegurar que a folha se mantenha firme contra o rolo de aplicação. Entre o revestimento de uma folha e da próxima, o rolo de pressão entra em contacto com o rolo de aplicação transferindo o produto. O produto é depois removido do rolo de pressão através da faca e retorna ao depósito de alimentação.

Durante o processo de aplicação de vernizes e esmaltes são controlados vários parâmetros tais como a temperatura do forno, a viscosidade do produto, o peso do filme húmido e seco e o aspeto visual da folha litografada. O controlo destes parâmetros é importante no sentido de se obterem produções conformes. No entanto verificam-se alguns problemas mesmo quando estes parâmetros são controlados. Nos revestimentos surgem determinados defeitos que por vezes são visíveis na decoração da embalagem, o que para o cliente não é aceitável. Os defeitos mais frequentes em produção são os poros, as bolhas e as manchas e representam um problema para a produção quando aparecem em elevada quantidade. De forma a melhorar a aplicação dos revestimentos é necessário identificar a origem dos defeitos e encontrar

soluções para os mesmos. É neste sentido que surge este projeto de mestrado para definição de boas práticas na aplicação de esmaltes e vernizes.

Nas linhas de ultravioleta são aplicadas as tintas que são curadas através de radiação ultravioleta. No entanto, também existem tintas em que é possível aplicar o verniz protetor sem secar previamente as camadas de tinta. Normalmente são designadas por tintas *wet-on-wet* [10].

Assim que o processo de litografia termina as folhas seguem para o corte secundário. No corte secundário as folhas litografadas são cortadas de acordo com o fim a que se destinam. Os corpos depois do corte, seguem para a montagem e as cúpulas e fundos, antes de seguirem para a montagem, passam primeiro pela estampagem.

Na montagem dos corpos, destinados para a produção de aerossóis, os corpos são enrolados, soldados e de seguida é aplicado um verniz na soldadura, tanto no interior como no exterior do corpo, para proteger a folha de flandres. Por último, o fundo e a cúpula são cravados ao corpo e as embalagens são dispostas em paletes e embaladas para serem transportadas.

O processo de montagem para as embalagens *general line* difere do processo anterior apenas na montagem dos fundos e das tampas. Nas embalagens deste tipo normalmente apenas se crava um dos componentes, sendo o outro componente cravado pelo cliente depois de encher a embalagem.

1.2 Apresentação da Empresa

A Colep foi fundada em 1965, em Vale de Cambra, e começou a sua atividade pela produção e comercialização de embalagens metálicas para bolachas. Atualmente dedica-se à produção de produtos de higiene pessoal, cosmética, higiene do lar, entre outros e é líder na Europa no desenvolvimento, formulação e enchimento desses mesmos produtos. A Colep é também líder ibérico na produção de embalagens industriais e um dos maiores fornecedores europeus de embalagens aerossol. A empresa pertence ao grupo RAR e está presente em países como Portugal, Espanha, Reino Unido, Alemanha, Polónia, Emirados Árabes Unidos, Brasil e México. [7]

A fábrica em Portugal localiza-se em Vale de Cambra e tem como áreas de negócio a produção de embalagens metálicas aerossol, *general line* e o enchimento de produtos de higiene e beleza. A fábrica também possui uma unidade de produção de embalagens plásticas e uma unidade designada de *Co-packing*. O *Co-packing* funciona com uma abordagem total de *outsourcing* que gere componentes e converte-os em produtos e embalagens. [7]

1.3 Organização da Tese

Esta tese de mestrado encontra-se dividida em quatro capítulos: introdução, contexto e estado da arte, resultados e discussão e conclusões.

O primeiro capítulo apresenta uma introdução à história das embalagens metálicas, o enquadramento do projeto, uma breve descrição do processo de fabrico das embalagens e por último uma apresentação da empresa onde foi realizado o projeto.

No segundo capítulo são apresentados os diferentes tipos de resinas utilizadas na formulação dos revestimentos, aplicados em folha de flandres, e são expostos alguns dos defeitos que surgem na aplicação dos revestimentos.

O terceiro capítulo diz respeito aos defeitos que surgem na folha litografada na empresa, e aos métodos de ensaio utilizados para determinação da sua origem. Neste capítulo também são apresentadas propostas de resolução para alguns desses defeitos e por último são apresentadas as boas práticas que podem ser aplicadas para melhoria do processo de aplicação de revestimentos.

O último capítulo apresenta as principais conclusões do projeto, as suas limitações e os trabalhos futuros que podem ser desenvolvidos.

2 Contexto e Estado da Arte

As propriedades físicas, químicas e mecânicas de um material, aplicado sobre uma superfície, determinam a sua aplicabilidade em diversos substratos. A necessidade de revestimentos mais eficazes tem impulsionado a tecnologia de forma a obter produtos superiores em termos de resistência ao desgaste, proteção contra a corrosão, maior biocompatibilidade, entre outros. [9]

2.1 Tipos de Resinas Utilizadas nos Revestimentos

Os revestimentos utilizados na indústria de vernizes baseiam-se numa ampla gama de tipos de resinas. Os tipos de resinas podem ser divididos em dois grupos. Tendo em consideração as suas propriedades e características podem-se dividir em resinas óleo-resinosas e resinas sintéticas. [10]

Os produtos óleo-resinosos derivam de gomas naturais e de óleos de secagem e são utilizados em diversificadas aplicações como por exemplo, em vernizes para embalagens alimentares ou revestimentos decorativos. [10]

Os produtos sintéticos podem conter matérias-primas naturais mas são essencialmente produzidos por síntese química sob condições controladas. [10]

Óleo-Resinosas

As resinas óleo-resinosas englobam todos os revestimentos produzidos por fusão de gomas e resinas naturais com óleos de secagem, como óleo de linhaça e de madeira. Este tipo de resina pode ser obtido diretamente das árvores ou de resíduos fósseis de florestas. Os vernizes com resinas deste tipo secam principalmente por oxidação mas podem ser secos num forno com temperaturas a partir de 60 °C. A vantagem destes vernizes face a vernizes com resinas sintéticas é o fácil controlo do peso do filme. [10]

Poliéster

Os poliésteres são produtos resultantes de reações entre ácidos polifuncionais e álcoois polifuncionais, como glicóis. As resinas de poliéster apresentam um número crescente de variações devido à possibilidade de se poder variar ambas as partes da sua composição. Isto traduz-se numa grande variedade de poliésteres com diferentes funções, desde elevada dureza a elevada flexibilidade. As resinas poliéster apresentam um alto conteúdo em sólidos, boa adesão ao metal e podem ser usadas em embalagens metálicas para alimentos. [10]

Acrílicas

As resinas acrílicas têm um uso limitado em embalagens metálicas alimentares mas são usadas em revestimentos externos das embalagens. Normalmente têm por base acrilatos ou metacrilatos [11]. Este tipo de resina é utilizado principalmente para formulação de produtos que necessitem de resistência excepcional ao calor e retenção de cor. [10]

Alquídicas

As resinas alquídicas são uma classe dos poliésteres. Nos revestimentos para embalagens metálicas onde é importante reter a cor, os produtos alquídicos são fabricados através de ácidos gordos saturados, como o coco. Os ácidos gordos saturados são normalmente derivados de óleos vegetais e proporcionam uma redução do odor produzido pelo revestimento. [11]

Fenólicas

As resinas fenólicas são fabricadas por reação de fenol com formaldeído. Após esta reação, pode-se melhorar a solubilidade e as características das resinas através de uma reação com álcoois [11]. Os revestimentos que têm por base resinas fenólicas apresentam uma dureza elevada mas pouca flexibilidade. O principal interesse deste tipo de produto é a sua elevada resistência ao enxofre e por isso são muito utilizados em embalagens que contêm produtos com enxofre, como a carne e o peixe. [10]

Epóxi

Os produtos epóxi são amplamente utilizados no interior de embalagens alimentares há mais de 40 anos [11]. Estes produtos baseiam-se em epicloridrina e bisfenol A (BPA) e geralmente são utilizados conjuntamente com resinas fenólicas para se produzirem vernizes ou com grande flexibilidade e boa resistência química. As resinas epóxi são também utilizadas com resinas amínicas para produzir vernizes incolores com as características mencionadas anteriormente. As resinas epóxi podem ser modificadas através da combinação destas com ácidos gordos para obter vernizes com boas propriedades de flexibilidade e de retenção de cor. [10]

Epóxi- fenólicas

Os revestimentos com este tipo de resina têm uma boa aderência sobre superfícies metálicas e possuem uma ampla gama de utilização, tanto para decoração como para proteção. As resinas epóxi-fenólicas são usadas no exterior e no interior de embalagens metálicas. Os vernizes com esta resina são curados a uma temperatura mínima de 195 °C para que ocorra a correta reticulação do polímero. Para temperaturas inferiores à referenciada anteriormente, a película seca parcialmente e não se obtêm todas as propriedades requeridas para o produto. [10]

Epóxi - amínicas

A combinação de resinas epóxi com resinas amínicas permite a fabricação de vernizes incolores com uma grande resistência química e física, uma boa resistência à esterilização e uma boa retenção de cor. Estes vernizes curam normalmente para temperaturas entre os 160 °C e 170 °C, durante 10 minutos. O uso deste tipo de resinas é recomendado para o exterior das embalagens devido a serem menos suscetíveis de sofrerem danos mecânicos. [10]

Epóxi - ester

As resinas epóxi-ester resultam da combinação de resinas epóxi com ácidos gordos num processo de esterificação. A principal utilização destas resinas é na fabricação de verniz incolor para *general line* e para embalagens esterilizadas. Os vernizes deste tipo são os vernizes sintéticos mais universais e têm a vantagem de possuir o mesmo brilho que os vernizes óleo-resinosos, mas sem apresentar o inconveniente de mudarem de cor. [10]

Vinílicas

Os vernizes vinílicos fabricam-se através de copolímeros vinílicos. As resinas vinílicas podem ser misturadas com resinas alquídicas, fenólicas ou epóxis, dependendo das propriedades pretendidas para o verniz. Este tipo de resina possui uma excelente aderência e flexibilidade e ausência de sabor e odor, pelo que é recomendada para o interior e o exterior de embalagens alimentares. [10]

Vinil-alquídicas

As resinas vinil-alquídicas resultam da combinação de resinas vinílicas com resinas alquídicas e as suas propriedades são uma junção dos dois tipos de resinas. Estas resinas têm uma boa aderência à folha de flandres e são utilizadas em produtos industriais e alimentares. Os vernizes com este tipo de resina curam normalmente entre os 140 °C e os 175 °C durante 10 minutos. Um período de cura menor que o mencionado provoca uma redução significativa das propriedades do produto. [10]

Organossóis

Os organossóis são dispersões vinílicas que apresentam um alto teor de sólidos relativamente às resinas vinílicas, normalmente entre 40 a 80 %. O alto teor em sólidos proporciona a este tipo de produto uma boa dureza, flexibilidade e resistência química. Os organossóis podem ser utilizados em embalagens alimentares uma vez que são isentos de sabor e odor. [10]

2.2 Problemas que Ocorrem na Aplicação dos Revestimentos

As ciências que estudam a reologia e a tensão superficial, fornecem as ferramentas necessárias para trabalhar com a tecnologia cada vez mais complexa dos revestimentos. É importante combinar a reologia e a química das superfícies num tópico unificado, para compreender melhor os processos de aplicação dos revestimentos. [8]

O conhecimento dos fenómenos de superfície e dos defeitos que ocorrem é imprescindível para proporcionar a visão necessária para a aplicação e manipulação dos revestimentos. E para ajudar a solucionar os problemas associados com a sua utilização. [8]

Os defeitos localizados e visíveis na superfície dos revestimentos são classificados pela sua aparência, o que por vezes não dá uma indicação clara da causa. A terminologia dos defeitos não está claramente definida o que dificulta a comunicação mesmo entre especialistas na área. [9]

De seguida são apresentadas as características, as causas e possíveis soluções de defeitos que ocorrem na superfície de um filme aplicado sobre um substrato de metal:

- Bolhas (*bubbling*) - formação de bolhas na solução. Só representa um problema quando estas se transferem para as folhas. Podem ser causadas por pobre equilíbrio de solvente, turbulência elevada e elevada tensão superficial da solução. As soluções possíveis são a reformulação, a redução da velocidade de produção, a redução da turbulência ou a adição de um agente antiespuma; [11,12]
- Casca de laranja (*orange pelling*) - aspeto semelhante à textura da superfície de uma laranja. Pode ser causado por pobre equilíbrio de solvente ou um elevado peso do filme. Para solucionar este defeito o recomendado é baixar a viscosidade ou reformular o produto; [11,12]
- Crateras (*cratering*) - pequenas depressões arredondadas que se formam na película. As causas podem passar pela presença de bolhas de ar que rebentam à superfície durante o período de secagem. E as soluções podem ser a reformulação, redução da velocidade de produção ou redução da turbulência; [11,12]
- *Crawling* - descontinuidade no filme, onde o revestimento forma gotículas ou afasta-se das bordas da folha antes de secar. Pode ser causado por pobre equilíbrio de solvente, presença de óleo na folha, uma baixa tensão superficial da folha, peso excessivo do filme, velocidade do ar elevada na primeira zona do forno. As soluções possíveis são a reformulação, uma pré-passagem no forno e redução da temperatura da primeira zona do forno; [11]
- Eflorescência (*blooming*) - névoa causada pela migração de lubrificante para a superfície do revestimento. As causas podem ser a presença de um lubrificante interno

com elevada incompatibilidade. A solução passa por reduzir ou substituir o lubrificante; [11]

- Escorridos (*sagging*) - irregularidades locais de espessura, provocadas pelo gotejamento do revestimento quando recém-aplicado. As causas são viscosidade baixa, um elevado peso de filme húmido (baixo teor de sólidos, elevado peso do filme). As soluções passam por manter a espessura da película no mínimo, uma evaporação mais rápida de solvente e por aquecer a solução; [11,14]
- Espuma (*foaming*) - formação de espuma na superfície da solução. As causas possíveis passam por uma elevada tensão superficial da solução ou elevada turbulência. As soluções são o uso de um agente anti-espuma, a redução da turbulência ou o aumento do volume do material da linha; [11,12]
- *Flashing* - aplicação desigual do peso do filme o que resulta num aspeto manchado com áreas claras e escuras. Mais comum em formulações epóxi e oleoresinosas. As causas são a baixa temperatura da solução e pode ser resolvido aquecendo a solução ou pela adição de um aditivo; [11,12]
- Fumo (*fuming*) - emissão visível de fumo à entrada ou saída do forno, resultante da aplicação do revestimento. Este defeito ocorre devido a solventes, lubrificantes ou espécies de baixo peso molecular. A solução passa por reformular o produto ou modificar a extração de ar do forno; [11,12]
- *Ghosting* - diferença de aparência do filme, em que é visível a imagem do garfo no lado em que recentemente foi aplicado o revestimento. Muito comum em alumínio pigmentado e dispersões vinílicas. As causas podem ser os garfos estarem excessivamente frios ou quentes ou peso de filme húmido elevado. Para resolver este problema pode-se otimizar a zona de pré-aquecimento do forno ou reduzir o peso do filme; [11,12]
- *Glazing* - o revestimento no rolo de aplicação tem uma aparência vidrada, que pode ser transferida para as folhas e deixar um aspeto manchado, o que pode influenciar as propriedades do filme. Acredita-se que ocorre devido à precipitação das resinas nos rolos e recomenda-se o uso de solventes com maior poder solvente; [11]
- Manchas (*mottling*) - má aplicação em forma de manchas escuras ou claras. As causas são viscosidade muito elevada, solução com temperatura baixa, lote não homogêneo ou com precipitado. Recorre-se a aditivos de espalhamento; [11]
- Marca dos garfos (*wicket marking*) - marca na parte contrária à qual esta a ser aplicado o revestimento. As causas podem ser os garfos estarem quentes ou sujos ou o revestimento no verso da folha não estar curado. Recomenda-se a redução da zona de pré-aquecimento do forno para solucionar o problema; [11,12]

- *Mudcracking* - rutura do filme durante o tempo de cura. As causas passam por elevada espessura do filme húmido, velocidade do ar elevada ou pobre equilíbrio de solvente. As soluções são redução do peso do filme ou reformulação do produto; [11]
- Olhos de peixe (*fish-eyes*) - crateras em que é visível, no centro, uma pequena impureza. Uma das causas pode ser a contaminação da solução; [11,14]
- *Offsetting* - Transferência de ingredientes do filme do revestimento para o verso da folha durante o empilhamento. Os ingredientes podem ser lubrificantes, silicones ou outros aditivos que podem causar problemas de adesão ou aplicação nas operações seguintes. As causas são pobre revestimento, sequência ou sistema selecionado pode ser resolvido através da seleção de um novo revestimento, reformular ou mudança da sequência; [11,12]
- Poros (*eyeholing*) - descontinuidade no filme de formato circular ou oval. As causas são a presença de óleo ou contaminação da folha, pobre equilíbrio de solvente ou contaminação da solução. A solução pode ser uma pré-passagem da folha no forno; [11]
- Queimada (*burning*) - Decomposição térmica do filme devido a um tempo de cura elevado; [11,12]
- Repassamento (*bleeding*) - dissolução de pigmentos de uma demão de tinta nos solventes ou no veículo da demão seguinte e sua difusão através da película, produzindo assim uma mancha de cor indesejável. As causas são sistemas incompatíveis ou o solvente do verniz dissolve o veículo da tinta. Normalmente requer a seleção de um novo revestimento ou tinta ou a diminuição do poder solvente do solvente do verniz; [11,14]
- *Reverse roll pick off* - Transferência não intencional do revestimento do rolo de *back-up* para o lado inverso da folha. As causas são um ajuste inadequado da faca ou pano de limpeza sujo. As soluções são ajustar e limpar o rolo de back-up e limpar a faca; [11]
- *Ridging* - Um problema comum que se verifica na aplicação do revestimento com rolo, em que se verificam linhas ou sulcos no filme seco. E as linhas são paralelas à direção de aplicação. As causas são: uma elevada viscosidade, elevada ou baixa temperatura da solução, rolo de aplicação inadequado; [11]
- Rolo dilatado (*roll swelling*) - Dilatação do rolo de aplicação devido aos solventes presentes no revestimento. Pode causar fracas margens e fraco controlo do peso do filme. Uma causa que pode estar na origem do defeito é a absorção de solventes por parte do rolo de aplicação. As soluções passam por mudar o tipo de rolo usado ou reformular os solventes usados; [11,12]

- *Skipping* - Má aplicação, na forma de pequenas manchas sem revestimento. Consegue-se observar nas folhas revestidas a húmido, e ao contrário dos poros, apresentam uma forma não circular. As causas são a baixa dureza do rolo, uma viscosidade elevada ou peso de filme baixo; [11]
- Solvente (*solvent popping*) - formação de bolhas no revestimento recém-aplicado devido à ebulição do solvente. As causas são o elevado peso do filme, velocidade do ar ou temperatura elevadas. [11,12]

3 Resultados e Discussão

Neste capítulo são apresentados alguns dos defeitos que são encontrados nos revestimentos aplicados em folha de flandres na empresa. Para cada um dos defeitos são exibidas as suas características e os ensaios efetuados para identificar a sua origem. De seguida são apresentados os resultados dos ensaios, é elaborada uma discussão para cada um dos defeitos identificados e são apresentadas propostas de resolução para os mesmos. Nesta secção são também expostos os métodos de ensaio utilizados para caracterização da composição química de vernizes e esmaltes. Por último são enumeradas as boas práticas que podem ser implementadas para melhorar a produção de folha litografada com vernizes e esmaltes.

3.1 Defeitos na Aplicação de Esmaltes e Vernizes

Na aplicação dos revestimentos em folha de flandres surgem diferentes tipos de defeitos que representam problemas para a produção nomeadamente, problemas operacionais e económicos. De forma a melhorar este processo produtivo é necessário solucionar os defeitos que surgem nas linhas de produção. Os principais defeitos que ocorrem e que serão estudados neste projeto apresentam características semelhantes aos defeitos anteriormente apresentados como *ghosting*, poros, bolhas e *skipping*. Neste projeto atribuir-se-á a designação de marcas alongadas para o *ghosting* e de manchas para o *skipping*.

3.1.1 Marcas alongadas

Descrição do Defeito

As marcas alongadas são um tipo de defeito que ocorre principalmente na aplicação de esmaltes brancos ou vernizes interiores. Normalmente caracterizam-se por uma marca com duas zonas distintas, uma zona de maior espessura e uma de menor espessura. Este tipo de defeito é facilmente identificado através da análise visual da folha de flandres à saída do forno. Na Figura 6 encontra-se uma fotografia de uma folha litografada, com um esmalte branco, com este tipo de defeito.

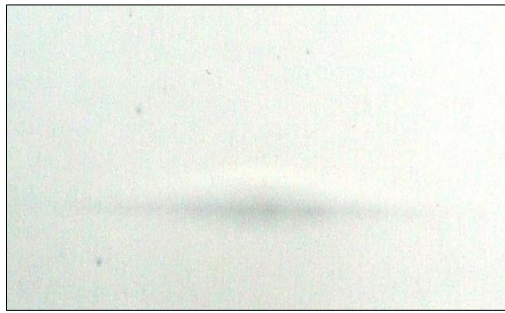


Figura 6 - Fotografia de uma folha litografada com branco esmalte com o defeito do tipo marca alongada.

Hipóteses quanto à sua origem

Com base no que foi descrito para o tipo de defeito *ghosting* e com o que acontece em produção consideraram-se duas hipóteses para a origem deste defeito. A primeira hipótese baseia-se na ocorrência de choque térmico entre a folha de flandres revestida a húmido e o garfo que a suporta no forno. A segunda hipótese baseia-se no contacto entre o revestimento húmido e o garfo que o precede no processo de cura.

Ensaios realizados

Com base nas hipóteses descritas anteriormente selecionaram-se dois ensaios diferentes para encontrar a origem do defeito em estudo. O primeiro ensaio realizado consistiu em aplicar ímanes, previamente arrefecidos, na parte contrária da folha à qual é aplicado o revestimento. Este ensaio foi efetuado para simular o choque térmico entre a folha e o garfo. Os ímanes foram colocados imediatamente antes da folha de flandres entrar no forno e depois de ser aplicado o revestimento húmido. Este ensaio foi efetuado em três revestimentos diferentes, em dois brancos esmalte e em um verniz interior ouro.

O segundo tipo de ensaio foi realizado com um revestimento do tipo branco esmalte. O ensaio consistiu em forçar o contacto entre a folha litografada e o garfo que a precede de formar a provocar uma marca no branco esmalte. O contacto foi forçado imediatamente antes de a folha entrar no forno para sofrer o processo de cura, ou seja, o contacto foi efetuado com a folha revestida a húmido.

Discussão dos resultados obtidos e recomendações

As folhas litografadas, resultantes do primeiro ensaio, não apresentaram qualquer tipo de marca na zona de aplicação dos ímanes. Da análise visual das folhas testadas no segundo tipo de ensaio, verificou-se a formação de várias marcas causadas pelos garfos como se pode ver na Figura 7.

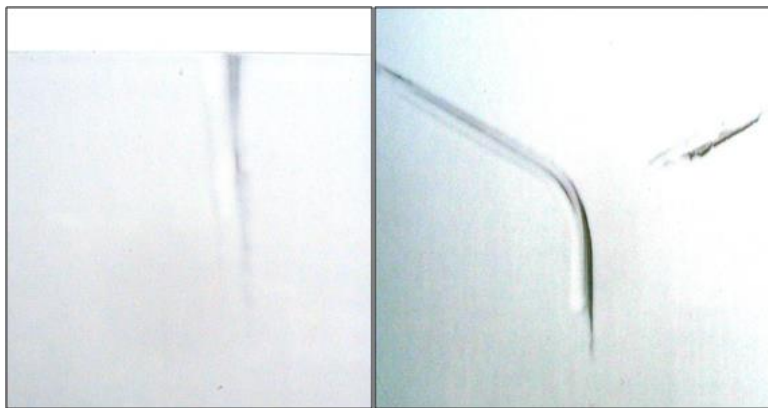


Figura 7 - Fotografias de folhas litografadas resultantes do ensaio de contacto forçado entre o garfo e o revestimento.

O defeito obtido nas folhas resultantes do segundo ensaio assemelha-se ao defeito que normalmente se encontra em folhas de flandres com revestimento. Conclui-se assim que o defeito ocorre por contacto entre o revestimento e o garfo que precede a folha litografada. Depois de identificada a causa do problema foi necessário averiguar porque ocorre o contacto entre a folha e o garfo que a precede, uma vez que este fenómeno não é comum e não deveria acontecer. Uma das causas do problema é o espaçamento entre os garfos que não é constante e na linha de produção verifica-se que alguns se encontram muito próximos um do outro, permitindo o contacto entre o revestimento e o garfo. A ventilação dentro do forno pode provocar a deslocação da folha de flandres no caso de folhas com uma espessura menor e se estas contactarem com os garfos no interior do forno também ocorrerá este tipo de defeito. Se qualquer um destes contactos acontecer na fase inicial do processo de cura, a zona na qual se deu o contacto, depois de curada, vai apresentar um aspeto visual que à primeira impressão pode levar a pensar que ocorreu por outros fatores que não os mencionados.

Para resolver o defeito recomenda-se a manutenção dos garfos do forno de forma a uniformizar o espaçamento entre estes. Também se recomenda trabalhar com a ventilação do forno no mínimo.

3.1.2 Poros

Descrição do Defeito

Os poros caracterizam-se por depressões circulares onde por vezes é possível ver o substrato no seu interior. Estes ocorrem principalmente em revestimentos do tipo branco esmalte e verniz primário e representam um problema para a produção quando aparecem em elevada quantidade. Este tipo de defeito é um dos que ocorre com maior frequência e é o que conduz

a maiores custos de não qualidade na litografia. Na Figura 8 encontra-se uma fotografia de uma folha litografada com branco esmalte, onde é possível visualizar este tipo de defeito.

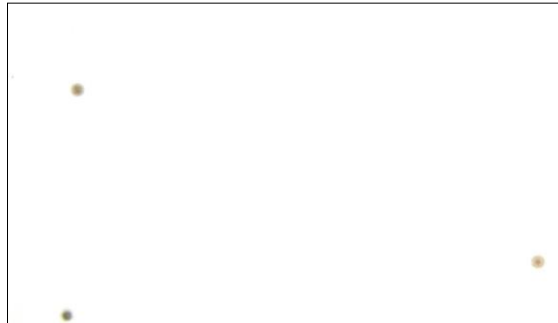


Figura 8 - Fotografia de uma folha litografada com branco esmalte com defeito do tipo poro.

Hipóteses quanto à sua origem

A sua origem é indeterminada mas com base na descrição encontrada na literatura sobre este tipo de defeito e da informação recolhida dos colaboradores colocou-se a hipótese de estar relacionada com a presença de óleo ou pólen no ar.

Ensaios realizados

No primeiro ensaio efetuado expôs-se a folha de flandres virgem a uma atmosfera contaminada com óleo. Para o efeito colocou-se a folha de flandres próxima de uma prensa de estampagem. A exposição teve uma duração de aproximadamente 3 minutos e no fim colocou-se a folha na linha de produção onde foi aplicado o revestimento que curou no forno. Este tipo de ensaio foi realizado em três tipos de revestimento, nomeadamente dois brancos esmalte e um verniz primário.

No segundo ensaio expôs-se a folha de flandres virgem, a uma atmosfera contaminada com óleo, durante o mesmo tempo de exposição que no primeiro ensaio. Depois de exposta a folha foi colocada diretamente no forno. Após a passagem no forno a folha foi novamente introduzida na linha, aplicou-se o revestimento e passou-se no forno para cura. Este tipo de ensaio foi realizado em dois brancos esmalte.

No quarto ensaio aplicou-se óleo lubrificante em *spray* sobre a folha revestida em húmido e passou-se no forno para cura. Este ensaio foi realizado em dois revestimentos brancos esmalte.

Para analisar o comportamento do revestimento na presença de pólen realizou-se um quinto ensaio, em que se aplicou pólen de pinheiro sobre folha virgem e sobre folha revestida a húmido.

Discussão dos resultados obtidos e recomendações

Da análise visual efetuada às folhas utilizadas no primeiro ensaio verificou-se a formação de poros em elevada quantidade, nos três tipos de revestimento aplicados. As Figuras 9 e 10 evidenciam os poros formados.



Figura 9 - Fotografia de uma folha litografada com branco esmalte acrílico com poros resultante da exposição a atmosfera contaminada.



Figura 10 - Fotografia de uma folha litografada com branco esmalte poliéster com poros resultantes da exposição a atmosfera contaminada.

No segundo ensaio as folhas apresentam alguns poros, porém em menor quantidade do que nas folhas resultantes do primeiro ensaio. Na Figura 11 encontra-se uma das folhas ensaiadas.



Figura 11 - Fotografia de uma folha litografada com branco esmalte acrílico com poros resultantes da exposição a atmosfera contaminada, mas com passagem prévia no forno.

As folhas resultantes do terceiro ensaio apresentaram inúmeros poros no revestimento, que podem ser comprovados na Figura 12.



Figura 12 - Fotografia de uma folha litografada com branco esmalte com poros resultantes da aplicação de óleo lubrificante em spray.

No ensaio realizado com aplicação de pólen de pinheiro, sobre uma folha virgem e sobre uma folha revestida a húmido, verificou-se que não ocorre a formação de poros. O que se verificou foi a formação de pontos salientes em que é possível visualizar a impureza no interior. A este tipo de defeito, na literatura, é atribuído a designação de olhos de peixe.

Na Figura 13 encontra-se uma representação ilustrativa do comportamento do filme na presença de pólen de pinheiro. A partícula de pólen ao depositar-se sobre o revestimento húmido provoca um transporte de massa por capilaridade da região envolvente da partícula para a região onde esta se encontra. Este facto faz com que a espessura do filme aumente junto da partícula de pólen e diminua na região circundante. O comportamento do filme é explicado por uma diferença de tensão superficial entre o revestimento e partícula de pólen, a tensão superficial do pólen é maior do que a tensão superficial do filme [8,9].

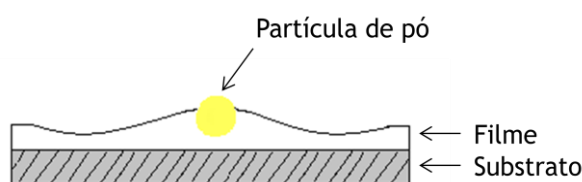


Figura 13 - Representação ilustrativa de uma partícula de pólen de pinheiro sobre um revestimento branco esmalte.

De forma a analisar os resultados e comparar estes com amostras existentes com defeito, recorreu-se a uma lupa. O equipamento utilizado foi o Optronic KROSS, modelo GSZ. Com este equipamento recolheram-se imagens das folhas ensaiadas e de amostras com defeito encontrado em produção. Através das imagens recolhidas da lupa verifica-se que o poro da amostra, representada na Figura 14, se assemelha ao poro obtido nos resultados do ensaio, representado na Figura 15. Estas semelhanças permitem comprovar que os poros formados em

produção apresentam a mesma forma que os poros que se formaram no ensaio, em que a folha foi sujeita a uma contaminação com óleo.

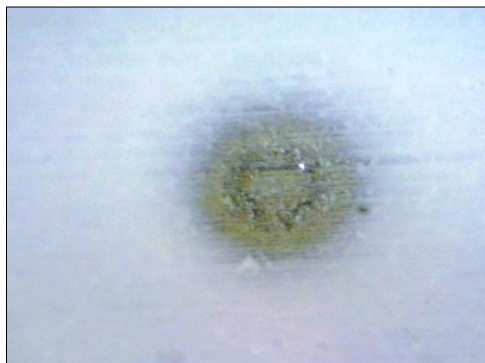


Figura 14 - Fotografia recolhida da lupa, de folha da produção com o defeito do tipo poro.

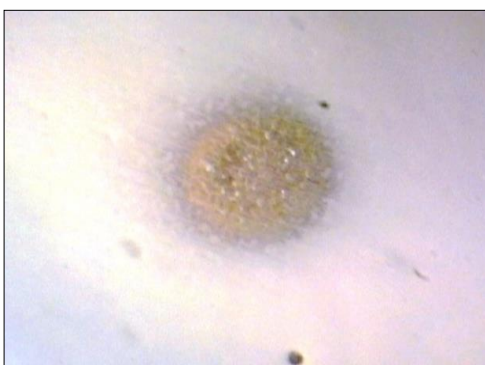


Figura 15 - Fotografia recolhida da lupa, de folha exposta a atmosfera contaminada com o defeito poro.

Os resultados dos ensaios evidenciam que se a folha de flandres estiver contaminada ocorrerá a formação de poros no filme que for aplicado sobre esta. No primeiro ensaio o queimador da linha de produção encontrava-se ligado e não preveniu a formação de poros, ou seja, o queimador ligado não é uma condição suficiente para evitar o aparecimento deste tipo de defeito. Com os resultados do segundo ensaio verificou-se que com uma passagem no forno continuam a surgir poros, porém em menor quantidade. Isto significa que este procedimento não é eficaz como método de prevenção na formação do defeito.

O quarto ensaio foi realizado para averiguar se, após a aplicação do revestimento a húmido, o contacto com uma atmosfera contaminada favoreceria o aparecimento de poros. Através dos resultados obtidos pode-se verificar que no revestimento húmido em contacto com partículas de óleo ocorrem a formação de poros. Este ensaio demonstra que a folha depois de litografada se entrar em contacto com partículas de óleo presentes no ar apresentará o defeito em estudo. Uma vez que o forno é aberto e a área envolvente da linha não é isolada, a linha de produção pode estar em contacto com uma atmosfera contaminada, proveniente da área de estampagem. A contaminação da folha de flandres pode assim ocorrer durante o

transporte, quando esta se encontra na frente de linha em espera para ser introduzida ou quando a folha está a percorrer a linha de produção.

Na Figura 16 encontra-se a representação esquemática do comportamento do filme na presença de uma partícula de óleo. A partícula de óleo ao depositar-se sobre o revestimento provoca um transporte de massa da região onde esta se encontra para a região envolvente, formando uma depressão circular no revestimento. A depressão ocorre devido à diferença de tensão superficial, uma vez que a tensão superficial do óleo é menor do que a tensão superficial do filme [8,9].

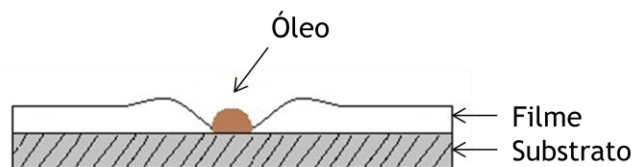


Figura 16 - Representação ilustrativa de uma partícula de óleo sobre um revestimento branco esmalte.

Para eliminar ou minimizar este defeito recomenda-se o isolamento das linhas de produção, ou seja, evitar que o ar contaminado com óleo lubrificante circule na área envolvente das linhas de produção. Também se recomenda o controlo do ar que é alimentado aos fornos dado que este é ar retirado do interior da fábrica. É importante evitar o uso de óleo lubrificante em *spray* junto das linhas de produção. E em períodos que o defeito ocorra é recomendado ligar a ventilação, no interior da fábrica, para que o ar contaminado seja removido do interior da mesma.

3.1.3 Bolhas

Descrição do Defeito

As bolhas são um tipo de defeito que surge com alguma frequência em diferentes vernizes, principalmente nos vernizes do tipo poliéster. Este defeito representa um problema para a produção quando surge em elevada quantidade na folha litografada, e é facilmente identificado por análise visual do revestimento. Na Figura 17 encontra-se uma ilustração deste tipo de defeito.



Figura 17 - Imagem ilustrativa das bolhas presentes nos revestimentos.

Hipóteses quanto à sua origem

Com base nas descrições apresentadas para o defeito do tipo bolhas e *solvent popping*, colocaram-se duas hipóteses quanto à origem das bolhas que ocorrem na litografia. A primeira hipótese baseia-se numa evaporação rápida dos solventes e a segunda hipótese na formação de bolhas na solução.

Ensaaios realizados

Para estudar a origem do defeito procedeu-se ao estudo da história de temperaturas no interior do forno, para as duas linhas de produção, onde normalmente se aplicam os vernizes.

Também se realizaram ensaios numa das linhas de produção com um determinado verniz de acabamento. Nestes ensaios aplicou-se o revestimento húmido numa folha litografada e de seguida retirou-se a folha da linha de produção e colocou-se na estufa para secar. Este processo foi repetido para diferentes condições de temperatura na estufa. Nos ensaios utilizaram-se seis folhas litografadas com a mesma decoração e a estufa foi utilizada para simular diferentes condições de temperatura no forno de cura. As condições de temperatura na estufa foram o aquecimento gradual do revestimento até atingir temperaturas de 100 °C, 150 °C e 200 °C, e exposição direta do revestimento a temperaturas constantes de 100 °C, 150 °C e 200 °C por um período de 15 minutos.

Discussão dos resultados obtidos e recomendações

A história da temperatura obtida para as linhas 1 e 2 encontram-se representadas nas Figuras 18 e 19, respetivamente. Na Figura 18 é possível observar que a folha de flandres revestida com um filme húmido sofre uma variação de temperatura a partir do instante dois minutos (tempo ao qual esta entra no forno) e demora três minutos a atingir a temperatura de cura 150 °C. A folha litografada permanece à temperatura de cura aproximadamente dez minutos começando a sofrer uma diminuição de temperatura aos quinze minutos.

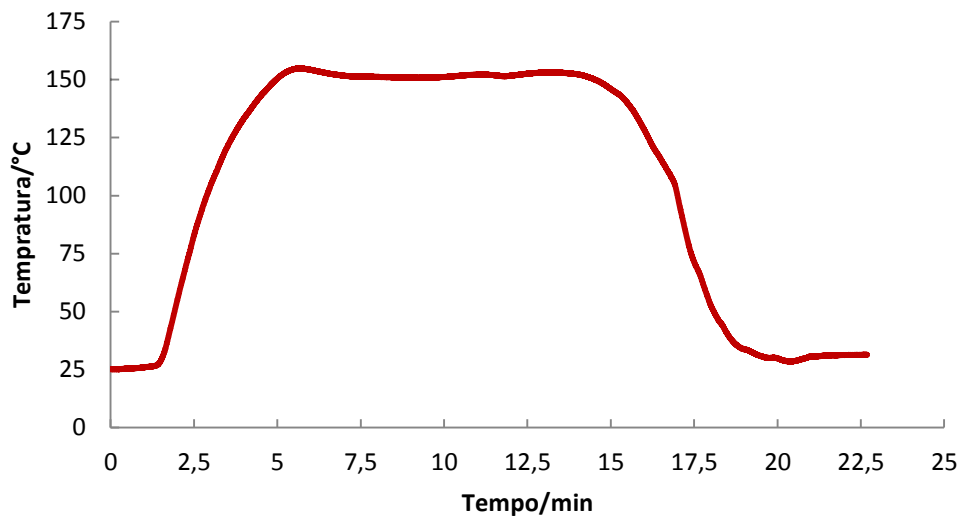


Figura 18 - História da temperatura no interior do forno da linha de produção número 1.

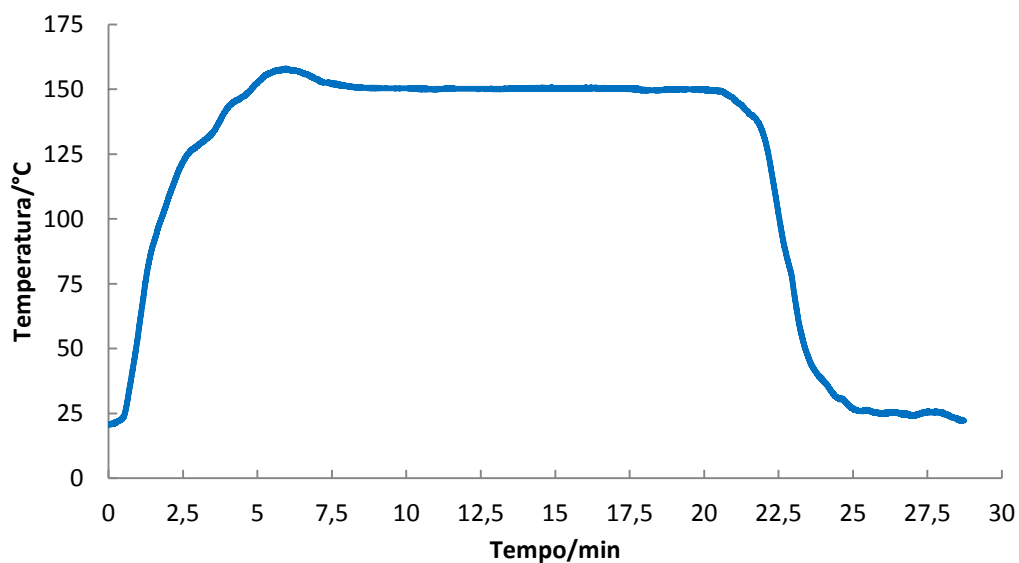


Figura 19 - História da temperatura no interior do forno da linha de produção número 2.

A Figura 19 apresenta a variação da temperatura, na folha litografada, ao longo do tempo no forno da linha 2. O filme atinge a temperatura de cura aproximadamente ao instante quatro minutos e permanece a essa temperatura por um período de treze minutos.

Normalmente verifica-se que existe uma maior incidência de bolhas na linha 1 do que na linha 2. Ao analisar os gráficos verifica-se que o revestimento sofre um aumento de temperatura mais lento na linha 2 do que na linha 1. A subida mais lenta da temperatura pode proporcionar mais tempo às bolhas para desaparecerem antes que o revestimento fique com uma viscosidade elevada. [15] O facto de a subida de temperatura ser mais rápida na linha 1 do que na linha 2 poderia explicar a maior incidência de bolhas na linha 1.

Nos ensaios realizados em estufa verificou-se que o número de bolhas no filme do revestimento não aumentou. Como o revestimento foi sujeito a um aumento mais rápido de temperaturas seria de esperar obter um maior número de bolhas. Este facto indica que o número de bolhas não está relacionado com a velocidade de aquecimento. Conclui-se assim que a formação de bolhas durante a aplicação do revestimento é que determina o seu número e não a rampa de aquecimento.

De forma a diminuir ou eliminar a formação de bolhas no filme do revestimento é necessário identificar o mecanismo de formação. Pensa-se que as bolhas são transferidas para o filme devido ao rolo de aplicação não ter uma dureza adequada ou se encontrar com zonas danificadas e de rugosidade elevada. Colocou-se a possibilidade de efetuar um ensaio com um novo rolo de aplicação, mas no período da dissertação não foi possível executar esse ensaio devido à indisponibilidade dos novos rolos. No entanto, a empresa avançou com a aquisição destes rolos e encontra-se à espera da chegada dos mesmos para efetuar os ensaios.

3.1.4 Manchas

Descrição do Defeito

As manchas ocorrem principalmente em revestimentos do tipo branco esmalte poliéster. Estas caracterizam-se por zonas em que o esmalte não molha o substrato. Este defeito representa um problema para a produção, uma vez que, as manchas são visíveis mesmo depois de a folha estar decorada. Na Figura 20 encontra-se uma fotografia de uma folha litografada com banco esmalte com o defeito do tipo mancha.



Figura 20 - Fotografia de uma folha litografada com branco esmalte com defeito do tipo mancha.

Hipóteses quanto à sua origem

Como o defeito ocorre com maior intensidade em folhas com revestimento interior colocou-se a hipótese de este ocorrer por contaminação da face exterior, com verniz interior. Uma outra

hipótese que se colocou foi a contaminação da folha com solventes sem afinidade para o revestimento.

Ensaios realizados

O primeiro ensaio realizado consistiu em aplicar verniz interior em determinadas zonas da folha de flandres, na face que posteriormente seria revestida com branco esmalte. Este ensaio foi realizado com dois tipos de branco esmalte, um do tipo acrílico e um poliéster.

O segundo ensaio realizado consistiu em aplicar gotas de solvente, com o auxílio de uma pipeta, na folha de flandres imediatamente antes de esta passar pelo rolo de aplicação do revestimento.

No terceiro ensaio recorreu-se a uma pipeta e aplicou-se uma gota de solvente no rolo de aplicação do revestimento e passaram-se quatro folhas de flandres onde se aplicou o esmalte.

Discussão dos resultados obtidos e recomendações

No primeiro ensaio realizado para determinação da origem das manchas verificou-se que o defeito não ocorre por contaminação da folha de flandres com verniz ouro. A Figura 21 comprova a afirmação anterior, uma vez que se verifica que o esmalte branco molha a região onde foi aplicado o verniz ouro.

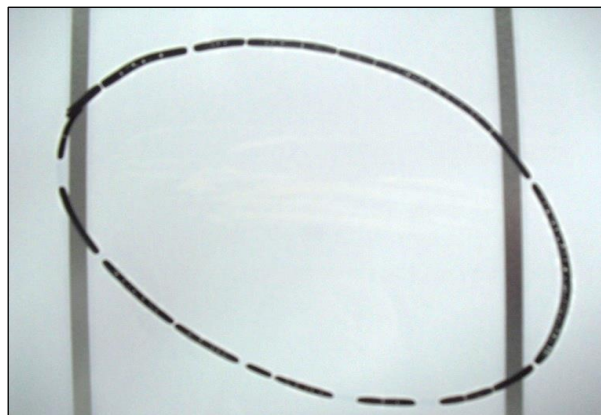


Figura 21 - Fotografia de uma folha litografada com verniz ouro e com branco esmalte.

No segundo ensaio obteve-se uma folha com defeito, que se encontra representada na Figura 22. Da análise visual da folha verificou-se que na região de aplicação do solvente o esmalte não molha a folha, ou seja não adere ao substrato nessas regiões. Também se verificou que o comportamento do filme neste ensaio se assemelha ao comportamento do filme no defeito do tipo mancha.

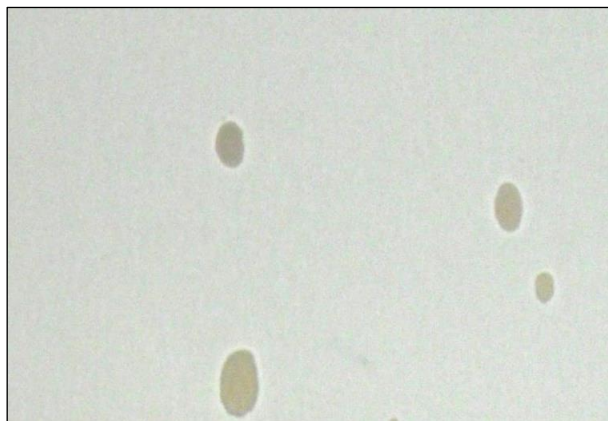


Figura 22 - Fotografia de uma folha litografada com branco esmalte na presença de gotas de solvente.

No terceiro ensaio não se verificou qualquer tipo de defeito na folha litografada. Como se aplicou o mesmo tipo de solvente, no segundo e terceiro ensaio, seria de esperar obter folhas com o defeito em ambos os ensaios, no entanto isso não ocorreu. Pensa-se que neste último ensaio a gota de solvente aplicada sobre o rolo tenha evaporado/sido absorvida antes de ser aplicado o revestimento na folha de flandres. Também se colocou a hipótese de repetir este ensaio, agora com a adição de uma quantidade maior de solvente sobre o rolo de aplicação. Contudo, não foi possível efetuar esse ensaio dado que o tipo de revestimento utilizado não voltou a estar disponível nas linhas de produção.

As causas do aparecimento das manchas ainda estão por determinar, mas pensa-se que estão essencialmente relacionadas com a adição de solvente sobre a superfície do revestimento. O rolo de aplicação é utilizado para a aplicação de vários tipos de esmaltes e vernizes e pode absorver pequenas quantidades dos solventes existentes nos revestimentos. Durante a limpeza também são aplicados solventes sobre o rolo que são absorvidos pelo mesmo. A presença de solvente na superfície não curada do revestimento pode assim ocorrer devido ao rolo de aplicação libertar pequenas quantidades de solvente. De forma a estudar se a origem da mancha está libertação de solvente por parte do rolo de aplicação colocou-se a possibilidade de testar um novo rolo e de um material diferente do utilizado. Contudo, ao longo da dissertação não foi possível efetuar este ensaio devido à demora na entrega do novo rolo de aplicação.

3.1.5 Outros Problemas de aplicação

Em produção ocorrem contaminações da folha de flandres nas diferentes faces desta. Um dos problemas de contaminação é caracterizado pelo aparecimento de pequenas manchas de branco esmalte no interior da folha litografada. Normalmente ocorre na aplicação de branco esmalte devido à existência de rebarba na folha litografada ou quando se trabalha com uma

camada elevada e viscosidade baixa do revestimento. Na Figura 23 encontra-se uma folha litografada com este tipo de defeito.

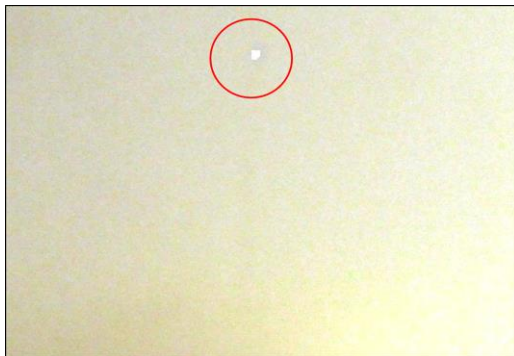


Figura 23 - Fotografia de uma folha litografada com contaminação com branco esmalte no revestimento interior.

Em primeiro lugar é aconselhável controlar a rebarba da folha de flandres de forma a melhorar a aplicação dos revestimentos na linha de produção. No caso de o defeito ocorrer é aconselhável trabalhar com a resistência elétrica desligada para não baixar a viscosidade do produto, uma vez que para viscosidades baixas a probabilidade de sujar a folha no interior é maior. Aconselha-se a aplicação do revestimento com um peso de filme o mais próximo possível dos valores mínimos, para não acumular elevadas quantidades de esmalte no rolo. Outro procedimento que pode ser tomado no caso de o defeito persistir é a redução da velocidade de produção.

Um outro problema de aplicação é caracterizado pelo aparecimento de salpicos de branco esmalte na zona das reservas, ver Figura 24. O defeito ocorre devido à aplicação de um revestimento com baixa viscosidade ou uma elevada camada, o que origina salpicos durante a aplicação.



Figura 24 - Fotografia de folha litografada com contaminação de branco esmalte na reserva.

No caso de o defeito ocorrer é aconselhável trabalhar com a resistência elétrica desligada para não baixar a viscosidade do produto. Aconselha-se a aplicação do revestimento com um peso de filme o mais próximo dos valores mínimos especificados. Em produtos em que ocorre

este tipo de defeito não é aconselhável a adição de solvente para acertar a viscosidade. Outro procedimento que pode ser tomado no caso de o defeito persistir é a redução da velocidade de produção.

3.2 Controlo de Receção de Esmaltes e Vernizes

De forma a controlar a qualidade dos produtos é necessário controlar a receção de matérias-primas. Os vernizes e esmaltes rececionados são inspecionados antes de serem introduzidos nas linhas de produção e os parâmetros controlados são o teor de sólidos, a viscosidade e o prazo de validade. Os produtos que apresentem parâmetros fora dos especificados, ou seja, que não se encontrem conformes, são reclamados aos fornecedores. Contudo verifica-se que por vezes diferentes lotes do mesmo revestimento apresentam comportamentos diferentes quando aplicados sobre o substrato. Desta forma sentiu-se a necessidade de analisar a composição química dos revestimentos para proceder a um controlo mais rigoroso.

3.2.1 Espectroscopia de Infravermelho

A espectroscopia de infravermelho (IV) é uma das técnicas mais úteis na caracterização dos revestimentos. Esta pode ser utilizada para controlo da qualidade das matérias-primas, monitorização do processo de cura dos revestimentos ou monitorização da degradação do revestimento. [8]

A técnica analítica de espectroscopia de IV, amplamente utilizada na determinação de compostos orgânicos, é normalmente designada por espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR). Esta técnica analítica tem como vantagens a facilidade de preparação da amostra, a possibilidade de analisar amostras sólidas, líquidas e gasosas e a obtenção rápida e precisa dos espectros. [8,13] A refletância total atenuada (attenuated total reflectance, ATR) é uma técnica de contacto não destrutiva, muito utilizada e útil para análises de superfícies e de fácil instalação no equipamento de FTIR. [8]

Na aplicação de um determinado verniz primário verificou-se que o comportamento deste não era o mesmo para os diferentes lotes. Desta forma sentiu-se a necessidade de analisar a sua composição química através de um equipamento de FTIR-ATR. Contudo devido à possibilidade de danificar o cristal de seleneto de zinco do equipamento de ATR, procedeu-se à análise de uma amostra de verniz sólida. Prepararam-se três amostras de verniz, de três lotes diferentes, e colocaram-se em estufa, a 180 °C durante um período de 30 minutos para secar.

O equipamento de FTIR utilizado possui uma gama de frequências entre 4000 e 600 cm^{-1} , foram realizados 64 *scans*. Obteve-se o espectro de infravermelho para cada um dos lotes em

análise. Na figura 25 encontra-se o espectro de infravermelho para o lote 1 e em anexo são apresentados os espectros dos lotes 2 e 3.

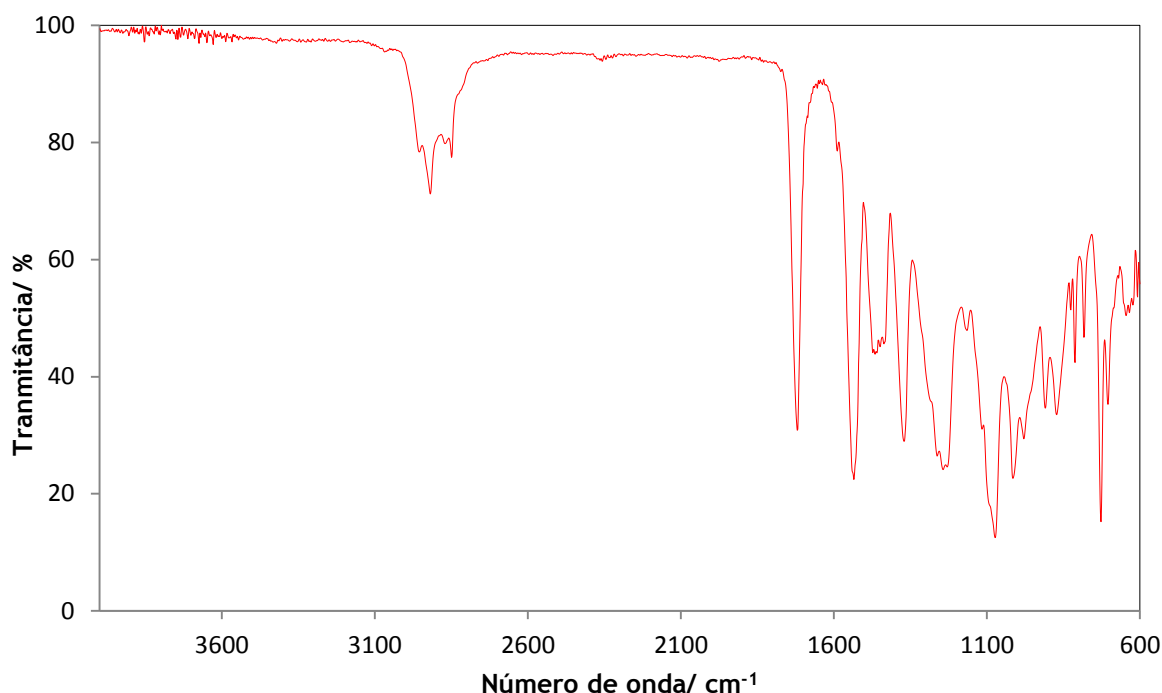


Figura 25 - Espectro de infravermelho do lote 1.

No espectro de infravermelho encontram-se as bandas características de uma resina do tipo poliéster. As principais bandas do espectro encontram-se descritas e caracterizadas na Tabela 1.

Tabela 1- Caracterização das bandas do espectro de infravermelho do lote 1.

| Número de Onda/cm ⁻¹ | Banda |
|---------------------------------|--------------------------------------|
| 2956-2871 | -CH ₃ e - CH ₂ |
| 1720 | Estiramento C=O éster |
| 1074 | Estiramento C-O éster |

Para uma melhor comparação entre os espectros de IV elaboraram-se gráficos com a sobreposição de dois espectros de IV. Na Figura 26 encontra-se a sobreposição do espectro do lote 1 e do lote 2 e em anexo é possível visualizar os gráficos com a sobreposição dos espectros de IV do lote 1 com o lote 3. Da análise dos gráficos verificou-se que os espectros possuem os mesmos picos para os mesmos comprimentos de onda, aproximadamente. Este facto significa que a composição química de cada lote, relativa aos sólidos, pode ser a mesma.

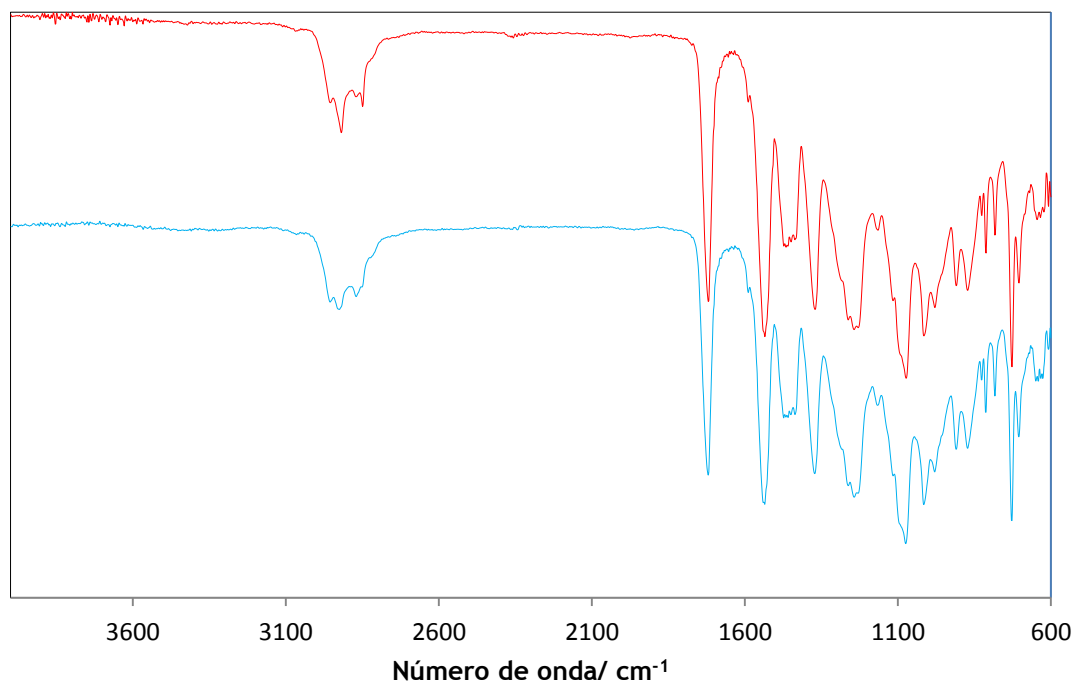


Figura 26 - Espectros de infravermelho do lote 1 (linha vermelha) e do lote 2 (linha azul).

3.2.2 Pressão de Vapor

A medição da pressão de vapor dos solventes é um método simples que permite avaliar se a sua composição é constante, os constituintes do solvente usado têm pontos de ebulição muito diferentes e quando usados em concentrações diferentes exibem uma pressão de vapor significativamente diferente. Este método complementa a análise da composição química do verniz, uma vez que, com o FTIR só foi possível fazer a análise da composição dos sólidos.

Para medir a pressão de vapor dos diferentes lotes realizaram-se três ensaios em laboratório. Os ensaios consistiram em colocar aproximadamente vinte gramas de verniz num tanque e com o auxílio de uma bomba fez-se vácuo no tanque, a uma temperatura de 25 °C durante 10 segundos. De seguida introduziu-se hélio até obter uma pressão de 0,1 bar. O hélio foi adicionado para evitar a condensação de vapores do verniz no sensor de pressão, o que provocaria variações na leitura da pressão de vapor. Por último colocou-se o tanque num banho termostático de óleo de silicone a 120 °C. O registo da pressão foi efetuado, para cada um dos vernizes, durante um período de aproximadamente 18 horas.

Nas figuras 27, 28 e 29 é possível visualizar a curva da pressão de vapor ao longo do tempo para os diferentes lotes. Da análise dos gráficos verificou-se que a pressão tende a estabilizar para diferentes valores. O lote 3 é o que estabiliza a valores de pressão de vapor mais elevados o que pode significar que possui solventes mais voláteis do que os outros lotes.

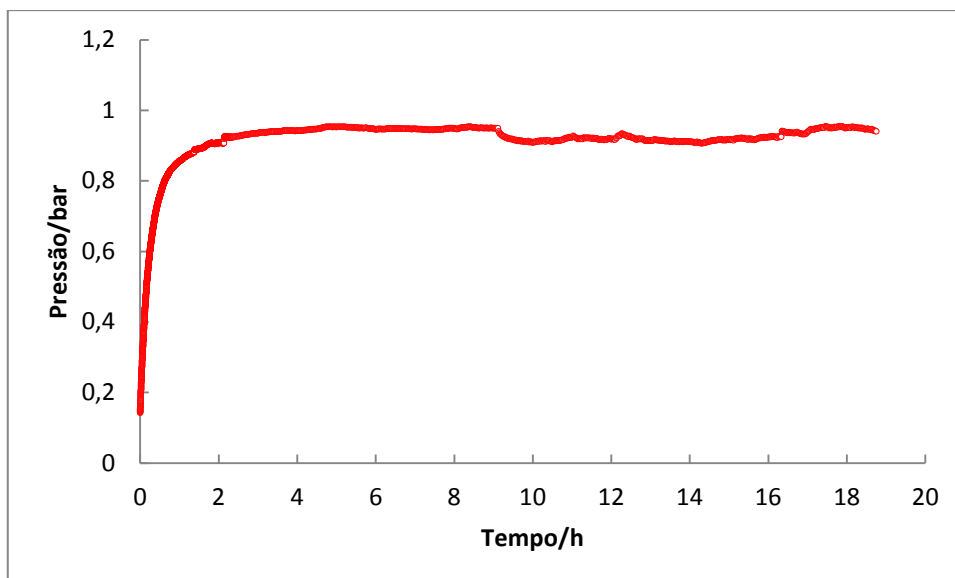


Figura 27 - Gráfico de pressão de vapor do lote 1.

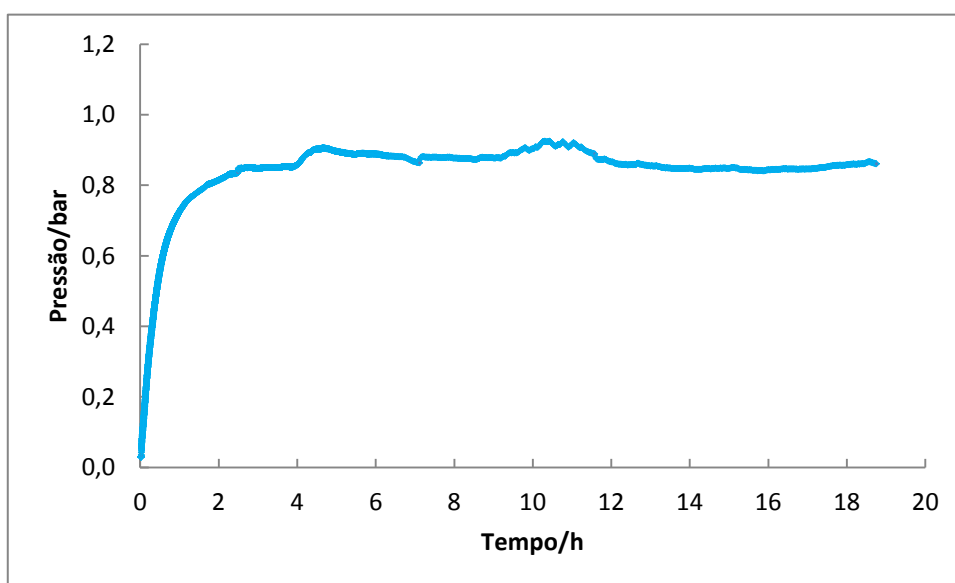


Figura 28 - Gráfico de pressão de vapor do lote 2.

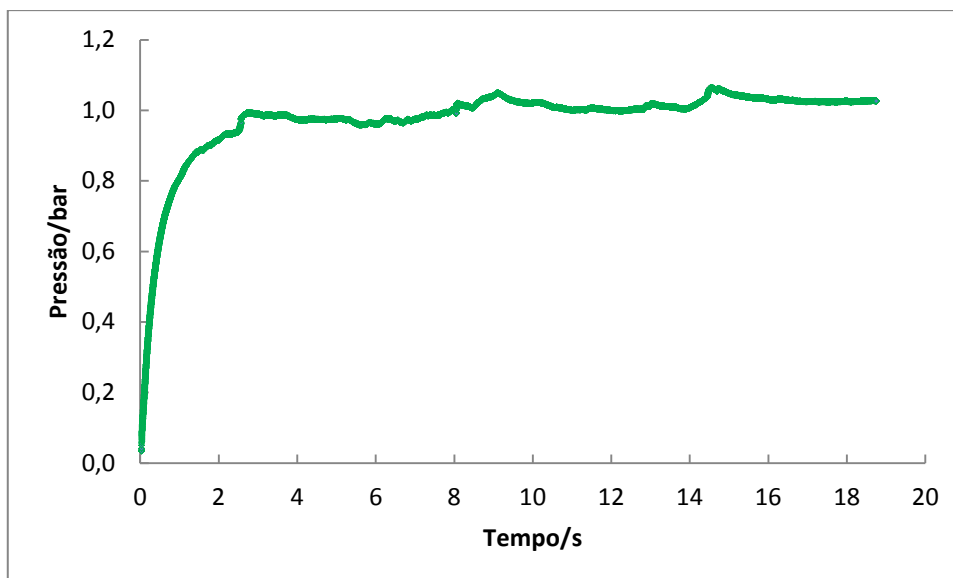


Figura 29 - Gráfico de pressão de vapor do lote 3.

O método utilizado deve ser aperfeiçoado uma vez que se verificou que ocorrem pequenas variações de pressão no período em que a pressão tende a estabilizar. Para analisar os resultados de forma mais rigorosa procedeu-se a uma análise estática. Na Tabela 2 são apresentadas as médias e os desvios padrão para as amostras dos diferentes lotes.

Tabela 2 - Média e desvio padrão das amostras dos diferentes lotes.

| Lote | \bar{x} | s |
|------|-----------|---------|
| 1 | 0,9247 | 0,01796 |
| 2 | 0,8682 | 0,02405 |
| 3 | 1,0014 | 0,02882 |

Recorreu-se a um método estatístico, o teste de Tukey, para comparação simultânea das médias de amostras equilibradas. [16]

As hipóteses que se colocam são:

$$H_0: \mu_i - \mu_j = 0$$

$$H_1: \mu_i - \mu_j \neq 0$$

Os intervalos de confiança a 95 % são:

$$-0,05880 \leq \mu_2 - \mu_1 \leq -0,05422$$

$$0,07445 \leq \mu_3 - \mu_1 \leq 0,07904$$

$$0,1309 \leq \mu_3 - \mu_2 \leq 0,1355$$

Da análise dos resultados verifica-se que o zero não faz parte dos intervalos de confiança, para um nível de confiança de 95 %. Desta forma rejeita-se a hipótese nula e conclui-se que as médias das amostras são diferentes para um nível de significância de 5 %.

3.2.3 Índice de Refração

A determinação do índice de refração é um dos métodos utilizados para controlar a qualidade de tintas, vernizes e esmaltes. O índice de refração é a razão entre a velocidade de propagação da luz no vazio e a velocidade de propagação da luz no meio em análise. A determinação do índice é importante dado que é uma propriedade que caracteriza cada substância podendo assim ser usado para identificação da mesma. [9]

A determinação do índice de refração foi um método anteriormente escolhido pela empresa para controlo de receção. A empresa procedeu à aquisição de um refratómetro portátil e o método de medição do índice de refração encontra-se em fase de validação. Na presente dissertação estudou-se o modo de funcionamento do equipamento e o método de calibração do mesmo. Como os revestimentos são misturas complexas e de composição por vezes desconhecida, na literatura não é possível encontrar os seus índices de refração. E como este tipo de informação não é cedida pelos fornecedores de esmaltes e vernizes é necessário proceder ao levantamento dos índices de refração dos revestimentos aplicados.

De forma a tirar o melhor partido das funcionalidades do equipamento é necessário elaborar uma base de dados com os valores de referência para cada tipo de esmalte e verniz usado na fábrica. Primeiro é necessário fazer um levantamento dos esmaltes e vernizes mais utilizados e recolher amostras dos mesmos para efetuar uma primeira medição do índice de refração. É necessário estudar a variação do índice para diferentes temperaturas, uma vez que, este varia com a temperatura. Por último, é necessário estabelecer um limite de rejeição, ou seja, estabelecer o erro máximo admissível.

3.3 Boas Práticas na Aplicação de Esmaltes e Vernizes

De forma a melhorar a produção é importante estabelecer boas práticas na aplicação de vernizes e esmaltes em folha de flandres. Em produção existem vários parâmetros que devem ser controlados de forma sistemática e criteriosa, e se estes não forem controlados podem levar à ocorrência de produções não conformes. Após a consulta da literatura e da análise da informação cedida pelos fornecedores identificaram-se as melhores práticas a serem implementadas na aplicação de esmaltes e vernizes.

As boas práticas devem começar no armazenamento dos produtos. É importante armazenar os produtos em local seco e a temperatura constante, normalmente entre os 15 °C e os 18 °C. [10]

Para permitir a formação de filmes contínuos e mecanicamente resistentes, os revestimentos devem ser aplicados sobre substratos secos e em condições de humidade e temperatura que favoreçam a evaporação e não a condensação. [15] Desta forma a temperatura ambiente, a temperatura do substrato e a humidade relativa devem ser cuidadosamente controladas antes de proceder à aplicação dos revestimentos. As variações de temperatura nas linhas de produção podem provocar variações dos parâmetros controlados, o que dificulta as condições de operação da linha e leva a produções não conformes. Desta forma é aconselhável trabalhar com uma temperatura constante na zona envolvente das linhas de produção.

As propriedades do verniz ou esmalte podem ser afetadas quando se opera com um produto com uma temperatura não adequada. A viscosidade é uma das propriedades que é significativamente influenciada pela temperatura, pelo que temperaturas elevadas ou temperatura baixas podem causar defeitos. A temperatura de aplicação adequada para esmaltes e vernizes é entre 20 °C e 25 °C. [11,12]

A agitação correta dos produtos antes de serem adicionados na linha de produção é uma prática que deve ser implementada para todos os vernizes e esmaltes. Os produtos que não sejam agitados de forma correta levam à ocorrência de defeitos no filme aplicado. Desta forma é imprescindível deter meios apropriados e suficientes para proceder à agitação de todos os produtos antes de serem introduzidos em linha.

A viscosidade é um dos parâmetros que são controlados em produção e a sua medição é importante para definir se o produto pode ser diretamente aplicado ou se necessita da adição de solvente. Este parâmetro deve ser verificado sempre que se adiciona produto no depósito de alimentação da linha de produção. A medição deve ser efetuada depois de o produto circular em máquina aproximadamente três minutos para que a temperatura e a viscosidade do produto estabilizem.

A medição da viscosidade deve também ser acompanhada pela medição da temperatura, uma vez que um valor de viscosidade sem temperatura não faz sentido. O valor de viscosidade para a temperatura em questão deve ser consultado na ficha de especificações do produto. E só no caso de não corresponder ao valor tabelado é que se deve proceder à correção da viscosidade por adição de solvente. A temperatura do solvente adicionado a um produto também deve ser registada, uma vez que a viscosidade do produto varia com a temperatura.

Quando for necessário adicionar solvente ao produto para corrigir a viscosidade é recomendado que a adição seja gradual com agitação no depósito de alimentação. A adição

de solvente deve ser quantificada de acordo com a redução de viscosidade pretendida, pelo que o uso de baldes graduados e identificados com o tipo de solvente permitiriam um controlo mais apertado da quantidade de solvente adicionado. A medição da viscosidade deve ser feita passado aproximadamente três minutos de o produto circular em máquina.

A medição do peso do filme húmido deve ser efetuada sempre que é adicionado produto no depósito de alimentação da linha de produção. A não verificação desta prática pode levar a produções com variações do peso do filme da folha litografada, uma vez que, ocorrem variações de viscosidade do produto ao longo do tempo.

Na limpeza deve-se retirar, em primeiro lugar, todo o produto que esteja em máquina antes de proceder à limpeza com solvente. Se este procedimento não for efetuado, ao colocar o produto restante no bidão ou no tanque pode levar à contaminação destes com solvente e contaminar produções posteriores. E sempre que se efetua a limpeza e é introduzido um novo produto em linha, deve-se recolher os primeiros litros que saem da máquina, uma vez que, podem estar contaminados com o produto que esteve anteriormente em máquina.

A folha de flandres que é alimentada às linhas de produção por vezes possui algum pó ou lixo resultante do período que permaneceu em armazém. É recomendado a limpeza com papel isento de fios da primeira folha da paleta uma vez que o lixo acumula-se na linha de produção e no rolo de aplicação.

Quando surgir um defeito no produto aplicado, de origem desconhecida ou que ainda não tenha sido estudado, deve-se proceder de forma a solucionar o defeito. O problema deve ser abordado de forma sistemática, ou seja, recomenda-se a execução de um determinado número de procedimentos para encontrar a causa do defeito. Os procedimentos são enumerados de seguida e devem ser executados pela ordem em que são apresentados:

1. Verificar se o defeito ocorre em todas as folhas litografadas;
2. Averiguar se ocorre sempre na mesma zona da folha litografada;
3. Confirmar se a temperatura do forno é a adequada para o tipo de revestimento que está a ser aplicado;
4. Averiguar se foi adicionado solvente ao produto e se foi o adequado para o mesmo;
5. Fazer uma análise visual da folha de flandres virgem, nomeadamente para procurar algum tipo de contaminação na folha;
6. Proceder à limpeza de uma folha virgem com solvente e aplicar o revestimento sobre a mesma. E verificar se no fim do processo de cura ocorre o defeito na folha litografada;
7. Se o defeito no fim do procedimento anterior permanecer, substituir o rolo de aplicação por um rolo novo e verificar se o defeito ocorre;
8. No caso de efetuados os procedimentos anteriores e o defeito continuar a ocorrer deve-se contactar o fornecedor para adequar o produto à aplicação pretendida.

4 Conclusões

Os objetivos desta dissertação são a identificação e caracterização dos vários defeitos que surgem nos filmes de revestimentos e definir boas práticas para melhorar a aplicação dos mesmos. Os defeitos estudados neste projeto foram as marcas alongadas, os poros, as bolhas e as manchas.

Concluiu-se que o defeito marca alongada ocorre devido ao contacto entre o revestimento húmido e o garfo do forno. E para minimizar ou eliminar este defeito é recomendado proceder à manutenção dos garfos do forno de modo a uniformizar o espaçamento entre estes.

Os poros são o tipo de defeito que ocorre com maior frequência nos revestimentos e consequentemente o que conduz a maiores prejuízos. Dos ensaios realizados concluiu-se que este ocorre devido à presença de partículas de óleo no ar proveniente da zona de estampagem. Para eliminar os poros recomenda-se o isolamento das linhas de produção, ou seja, evitar que o ar contaminado com óleo lubrificante circule na área envolvente das linhas de aplicação de esmaltes e vernizes. Os ensaios realizados também permitiram concluir que a origem deste defeito não está relacionada com a presença de partículas de pólen no ar.

O defeito do tipo bolhas é um defeito que ocorre com maior incidência na linha 1 da produção. De acordo com os ensaios realizados pensa-se que o defeito está relacionado com o uso de rolos de aplicação do revestimento usados, com defeitos superficiais.

As manchas foram outro dos defeitos estudados neste projeto. Foi possível identificar que este defeito está relacionado com a adição de solvente na superfície do filme do revestimento. No entanto, não foi possível efetuar ensaios para comprovar esta hipótese devido ao atraso na entrega de rolos de aplicação novos.

De forma a garantir a qualidade das matérias-primas rececionadas é importante fazer um controlo rigoroso das mesmas. Para controlar a receção de matérias-primas como esmaltes e vernizes selecionou-se o método de espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier com o acessório ATR. Este método permite avaliar, por exemplo, se diferentes lotes do mesmo verniz ou esmalte são iguais.

De forma a melhorar as condições de aplicação dos revestimentos é importante controlar a temperatura e a humidade do ar e seguir os procedimentos corretos na limpeza dos equipamentos das linhas. O controlo sistemático dos parâmetros como a viscosidade, o peso do filme e a temperatura do revestimento, ao longo do processo de aplicação é essencial para que não ocorram variações do que foi especificado para o produto final.

4.1 Limitações e Trabalho Futuro

O projeto desenvolvido ao longo desta dissertação envolveu o uso de vários dispositivos analíticos, de equipamentos das linhas de produção e de matérias-primas. Neste trabalho foram especialmente limitantes a falta de equipamentos novos para testar algumas das hipóteses sugeridas, como rolos de aplicação de diferentes composições, e a ausência de aplicação de um tipo de revestimento nas linhas de produção. A demora na entrega de um novo rolo de aplicação com composição diferente dos que normalmente são utilizados, não permitiu a conclusão do estudo sobre a origem das manchas. Também se verificaram limitações no uso do equipamento de FTIR, uma vez que não foi possível analisar amostras líquidas devido à possibilidade de danificar o equipamento.

Como trabalho futuro é importante continuar o estudo da origem dos defeitos, mais concretamente das bolhas e das manchas. Depois da identificação dos defeitos seria interessante a elaboração de um manual de defeitos onde constem as suas características, causas e possíveis soluções.

No que diz respeito ao índice de reflexão é essencial continuar a trabalhar no sentido de elaborar uma base de dados com a informação dos índices de reflexão dos esmaltes e vernizes utilizados na empresa. A base de dados no futuro tornar-se-á numa ferramenta muito útil, para controlo de receção das matérias-primas, uma vez que, permitirá a identificação e comparação dos diferentes produtos.

Relativamente à espectroscopia de infravermelho seria uma mais-valia para a empresa a elaboração de uma base de dados, com os espectros de infravermelho para controlo de receção de esmaltes e vernizes. A base de dados permitiria a comparação dos lotes dos produtos sempre que se verificasse necessário.

A melhoria contínua deve estar sempre presente na definição de boas práticas na aplicação de esmaltes e vernizes. É nesse sentido que devem ser efetuados estudos para acompanhar os avanços da tecnologia e definir novas práticas para a melhoria do processo.

4.2 Apreciação Final

Este projeto contribuiu de forma positiva para a empresa na medida em que permitiu identificar a origem de alguns dos maiores defeitos encontrados na aplicação dos revestimentos. Com as recomendações apresentadas podem ser tomadas medidas eficazes para minimizar ou eliminar os defeitos e assim reduzir os custos da não qualidade. O trabalho desenvolvido contribuiu também como guia para a identificação da origem de outros defeitos que possam ocorrer nas folhas litografadas.

Referências

1. Can Manufactures Institute. Acedido a 22 de maio de 2014. <http://www.cancentral.com/can-stats/history-of-the-can>.
2. Compax Packaging. Acedido a 22 de maio de 2014. http://www.compaxpackaging.com/packaging_history_metal.html.
3. Geoghegan, T. “The story of how the tin can nearly wasn’t “, BBC, 21 de abril de 2013. Acedido a 23 de maio de 2014. <http://www.bbc.com/news/magazine-21689069>.
4. Canned Food UK. Acedido a 23 de maio de 2014. <http://www.cannedfood.co.uk/history-of-food-cans>.
5. Metal Packaging Manufacturers Association. Acedido a 23 de maio de 2014. <http://www.mpma.org.uk>.
6. European Metal Packaging. Acedido a 23 de maio de 2014. <http://www.empac.eu>.
7. Colep. Acedido a 27 de maio de 2014. <http://www.colep.com/>.
8. Tractor, A. A., “Coating Technology Handbook”, Taylor & Francis Group, 3º Edição, 2006.
9. Goldschmidt, A., Streitberger H.J. “BASF Handbook on Basics of Coating Technology”, Vincentz Network, 2º Edição, 2007.
10. ICI Paints Espanã S.A., “Lacas, barnices y esmaltes para envases de conservas y bebidas y para la industria de la decoracion sobre metal”, 1995.
11. Boer, J. Diostyl Coatings. Abril de 2014.
12. Regueiro, A. PPG Industrial Coatings. Junho de 2014.
13. Stuart, B., “Infrared Spectroscopy: Fundamentals and applications”, John Wiley and Sons, 2004.
14. Nogueira, J. L., “Noções Básicas de Tintas e Vernizes”, Volume I, 2008.
15. Nogueira, J. L., “Noções Básicas de Tintas e Vernizes”, Volume II, 2008.
16. Sheldon, M. R., “Introduction to Probability and Statistics for Engineers and Scientists”, Academic Press, 3º Edição, 2004.

Anexo 1 Equipamento Utilizado nos Ensaios.

Os equipamentos utilizados em alguns dos ensaios efetuados encontram-se representados nas Figuras A1.1, A1.2, A1.3, A1.4 e A1.5.

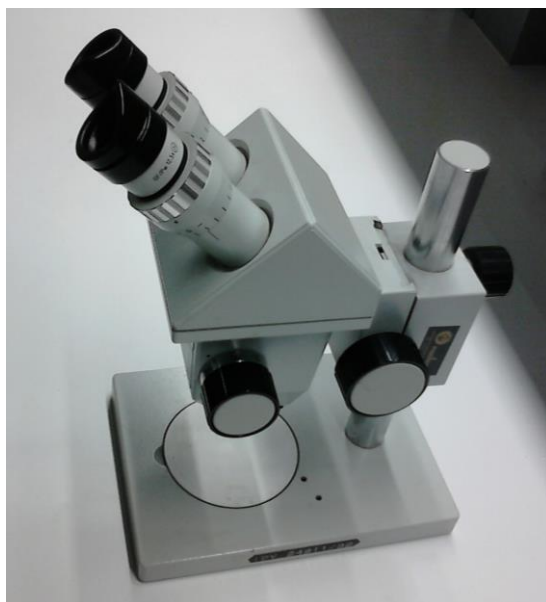


Figura A1.1 - Optronic KROSS, modelo GSZ.



Figura A1.2 - Equipamento FTIR com acessório ATR-MIR.



Figura A1.3 - Tanque utilizado nas medições de pressão de vapor.



Figura A1.4 - Banho termoeestático de óleo de silicone.



Figura A1.5- Refratômetro portátil Refracto 30PX

Anexo 2 Espetros de Infravermelho

Os espectros de infravermelho para o lote 2 e 3 encontram-se representados nas Figuras A2.1 e A2.2, respetivamente.

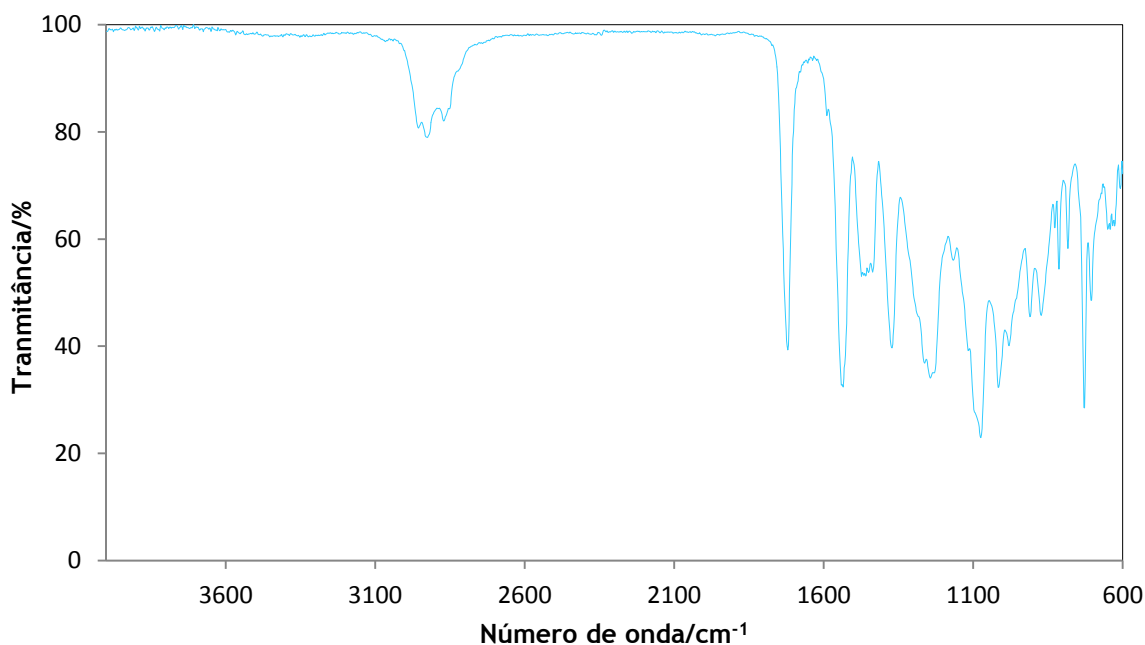


Figura A2.1 - Espectro de infravermelho do lote 2.

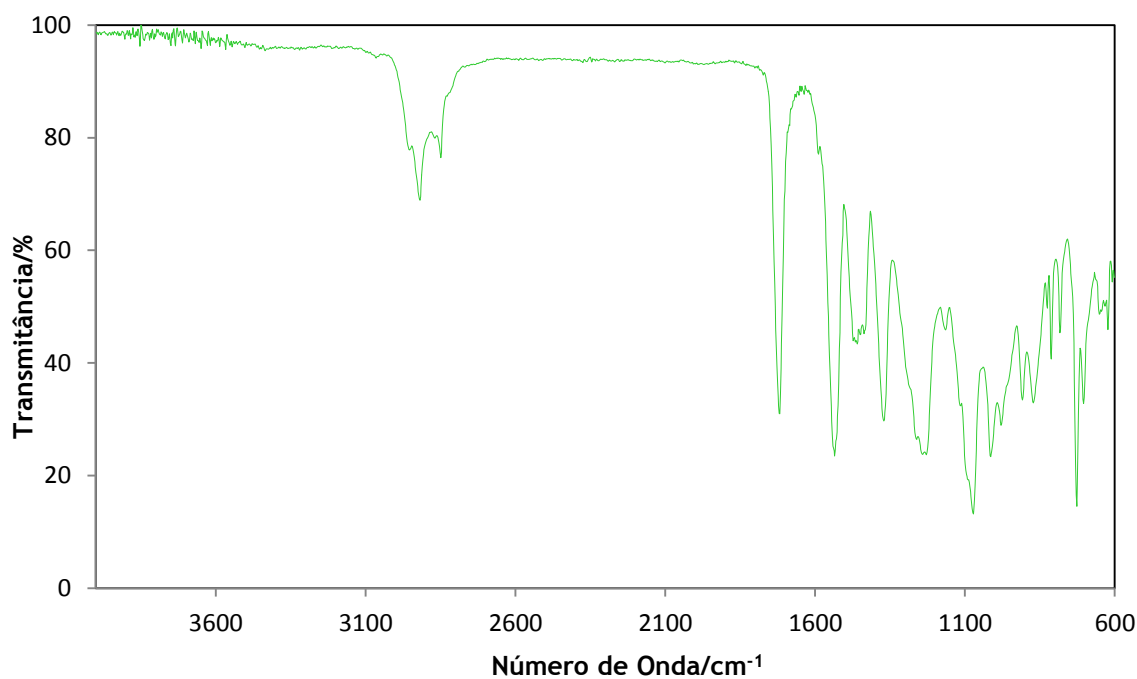


Figura A2.2 - Espectro de infravermelho do lote 3.

Na Figura A2.3 encontra-se representada a sobreposição dos espectros de infravermelho do lote 1 e do lote 3.

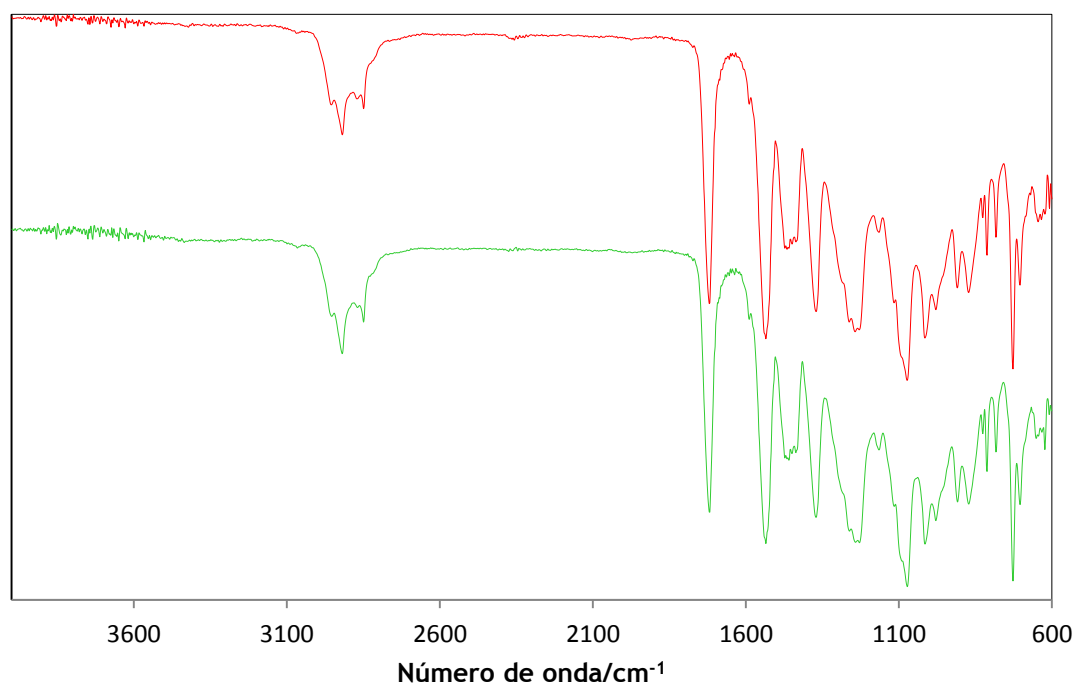


Figura A2.3 - Espectros de infravermelho do lote 1 (linha vermelha) e do lote 3 (linha verde).